



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PEMETAAN PERSEBARAN PENCEMAR NON-  
KONSERVATIF DARI AKTIVITAS LALU LINTAS  
PERKOTAAN DI WILAYAH SURABAYA PUSAT  
MENGUNAKAN MODEL GAUSS  
TERMODIFIKASI**

**TEUKU FAZHAMY RAFIANDRA  
03211440000100**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PEMETAAN PERSEBARAN PENCEMAR NON-  
KONSERVATIF DARI AKTIVITAS LALU LINTAS  
PERKOTAAN DI WILAYAH SURABAYA PUSAT  
MENGUNAKAN MODEL GAUSS  
TERMODIFIKASI**

**TEUKU FAZHAMY RAFIANDRA**  
03211440000100

**DOSEN PEMBIMBING**  
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**FINAL PROJECT - RE 141581**

**DISPERSION MAPPING OF NON-  
CONSERVATIVE POLLUTANT FROM URBAN  
TRAFFIC ACTIVITY IN CENTRAL SURABAYA  
USING MODIFIED GAUSS MODEL**

**TEUKU FAZHAMY RAFIANDRA**  
03211440000100

**SUPERVISOR**  
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMETAAN PERSEBARAN PENCEMAR NON-KONSERVATIF DARI AKTIVITAS LALU LINTAS PERKOTAAN DI WILAYAH SURABAYA PUSAT MENGGUNAKAN MODEL GAUSS TERMODIFIKASI

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**TEUKU FAZHAMY RAFIANDRA**  
NRP. 03211440000100

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:



**Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT**  
NIP. 19751018 200501 1 003



# **PEMETAAN PERSEBARAN PENCEMAR NON-KONSERVATIF DARI AKTIVITAS LALU LINTAS PERKOTAAN DI WILAYAH SURABAYA PUSAT MENGGUNAKAN MODEL GAUSS TERMODIFIKASI**

Nama Mahasiswa : Teuku Fazhamy Rafiandra  
NRP : 03211440000100  
Departemen : Teknik Lingkungan FTSLK ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

## **ABSTRAK**

Surabaya Pusat adalah salah satu wilayah yang perlu mendapat perhatian khusus dalam pengelolaan pencemaran udara. Hal ini dikarenakan volume lalu lintas yang tinggi sehingga berpotensi menurunkan kualitas udara. Salah satu parameter pencemar penting adalah pencemar non-konservatif, antara lain nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan ozon ( $\text{O}_3$ ). Parameter  $\text{NO}_x$  dan  $\text{O}_3$  saling mempengaruhi dalam siklus reaksi fotokimia dan dapat berakibat buruk pada kesehatan sehingga diperlukan upaya pengelolaan yang tepat. Dalam pengelolaan pencemaran udara, diperlukan informasi data kualitas udara yang cukup dan akurat. Data ini didapatkan dari stasiun pemantau kualitas udara. Namun, Surabaya hanya memiliki 3 stasiun pemantau kualitas udara yang aktif dari 7 stasiun yang ada. Data ini kurang mencukupi untuk menggambarkan model kualitas udara perkotaan secara menyeluruh. Maka, dalam penelitian ini diaplikasikan model dispersi pencemar udara dari sumber transportasi yang teridentifikasi. Model dispersi pencemar udara dapat memberikan gambaran terkait sumber dan persebaran pencemar dan melengkapi data-data yang diperlukan dalam pengelolaan kualitas udara.

Model dispersi pencemar udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan model Gauss termodifikasi dengan memasukkan kinetika reaksi untuk pencemar non-konservatif. Identifikasi sumber pencemar dari aktivitas transportasi didasarkan pada data volume lalu lintas. Berdasarkan data volume lalu lintas, akan dihitung beban emisi

dari aktivitas lalu lintas dengan pendekatan faktor emisi. Kemudian kondisi meteorologi sebagai *input* dianalisis berdasarkan data lokal dari stasiun pemantau kualitas udara. Data-data ini diolah untuk mendapatkan gambaran rata-rata kecepatan dan arah angin periode musim kemarau dan musim penghujan, menghasilkan *windrose*. Semua perhitungan dan aplikasi model dispersi dilakukan dengan piranti lunak Microsoft Excel dan Matlab.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model Gauss termodifikasi dapat digunakan untuk mengetahui persebaran emisi pencemar non-konservatif dari aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat. Nilai korelasi model terhadap data pengukuran pada musim kemarau dan musim hujan berturut-turut adalah 0,35 dan 0,051. Sedangkan nilai RMSE dari model pada musim kemarau dan hujan berturut-turut adalah 95,16 dan 237,19. Kemudian perubahan kualitas udara ambien akibat pencemar non-konservatif terlihat dengan menggunakan peta kontur dispersi pencemar udara. Perubahan kualitas udara terburuk dengan sebaran terluas terjadi pada kondisi musim kemarau dengan kecepatan angin 5,5-8 m/det. Radius sebaran pencemar NO<sub>x</sub> adalah 4,2-4,4 km dari wilayah studi.

**Kata kunci:** emisi, kinetika reaksi, model dispersi, nitrogen oksida, pencemaran udara

# **DISPERSION MAPPING OF NON-CONSERVATIVE POLLUTANT FROM URBAN TRAFFIC ACTIVITY IN CENTRAL SURABAYA USING MODIFIED GAUSSIAN MODEL**

Name of Student : Teuku Fazhamy Rafiandra  
NRP : 03211440000100  
Study Programme : Environmental Engineering  
Supervisor : Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

## **ABSTRACT**

Central Surabaya area is one of areas that need special attention in management of air pollution due to its high traffic activity. The high traffic may lead to decrease of air quality in the area. One of the important parameters in air pollution is non-conservative pollutant, including Nitrogen Oxides ( $\text{NO}_x$ ) and Ozone ( $\text{O}_3$ ).  $\text{NO}_x$  and  $\text{O}_3$  affect each other in a photochemical reaction cycle and may have bad impacts on human health. Thus, the right management attempt is needed. Sufficient and accurate air quality data needed in attempt of air pollution management. These data could be retrieved from air quality monitoring stations. However, Surabaya only have 3 active stations out of 7 stations available. These data are not sufficient to represent urban air quality model thoroughly. Thus, this research applies air pollution dispersion model from identified transportation source. Air pollution dispersion model might show the source and dispersion of pollutant and completing data that needed in air quality management.

Air pollution dispersion model that used in this research is modified Gaussian model with addition of kinetics factor for non-conservative pollutant. Identification of air pollution source from transportation activity is based on traffic volume data. Based on traffic volume data, emission load will be measured using emission factor approach. Then meteorology condition as a data input will be obtained from local data monitored using air quality monitoring station. These data will be analyzed to get average wind speed and wind direction during dry and rainy season, producing windrose. Dispersion model will be stated good if it has correlation with monitoring data of 0,572 based on US EPA

standard. All the measurement and application of air dispersion model will be done using Microsoft Excel and Matlab.

The result of this research showed that the modified Gauss model can be used to know the dispersion of non-conservative pollutant emission from traffic activity in Central Surabaya. The correlation value of model to monitored data during dry and rainy season respectively 0,35 and 0,051. Whereas the RMSE value of the model during dry and rainy season respectively 95,16 and 237,19. Then, the change of ambient air quality due to non-conservative air pollutant can be seen using air pollution dispersion contour map. The worst air quality change with the vastest air pollutant dispersion happens during the dry season with the wind speed of 5,5-8 m/s. The radius of NO<sub>x</sub> pollutant dispersion is 4,2-4,4 km from the study area.

**Keywords:** emission, reaction kinetics, dispersion model, nitrogen oxide, air pollution



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia kenikmatan, kemudahan, petunjuk, dan berkah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini berjudul **“Pemetaan Persebaran Pencemar Non-Konservatif Dari Aktivitas Lalu Lintas Perkotaan di Wilayah Surabaya Pusat Menggunakan Model Gauss Termodifikasi.”**

Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu tidak terlepas dari peran serta berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT atas segala bimbingan dan nasihatnya selama kegiatan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc, Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT, Bapak Dr. Ir. Irwan Bagyo Santoso, MT, dan Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM atas arahan yang diberikan untuk kegiatan penelitian ini.
3. Ibu Alia Damayanti, ST, MT, Ph.D atas bimbingan selama menjalani kegiatan perkuliahan di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
4. Ayah, Bunda, dan Adik serta keluarga besar atas segala dukungan materi, doa, dan moral demi kelancaran tugas akhir.
5. Teman-teman rekan bimbingan tugas akhir (Sita, Raihan, Ilmi, Ilham, Irma, Anfa, Giffari) atas kerjasama dan bantuannya selama pengerjaan tugas akhir.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS 2014, khususnya anggota Laboratorium Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim, atas segala bantuan dan dukungannya selama pengerjaan tugas akhir.

Penulis memohon saran, kritik, dan penyempurnaan dari pembaca terkait dengan tugas akhir ini. Terima kasih.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Pendahuluan .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan .....	3
1.4. Ruang Lingkup .....	3
1.5. Manfaat .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Gambaran Umum Wilayah Studi .....	5
2.2. Pencemaran Udara .....	6
2.3. Parameter Pencemaran Udara .....	7
2.3.1. Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ) .....	7
2.3.2. Ozon ( $\text{O}_3$ ) .....	9
2.3.3. Hubungan Nitrogen Oksida dengan Ozon .....	11
2.3.4. Baku Mutu .....	12
2.3.5. Mekanisme Penyerapan Pencemar Udara oleh Tumbuhan .....	12
2.4. Persebaran Pencemar Udara .....	13
2.5. Emisi dari Aktivitas Jalan Raya .....	14
2.5.1. Klasifikasi Jalan Raya .....	15
2.5.2. Perhitungan Beban Pencemar .....	15
2.6. Model Dispersi Pencemar Udara .....	18
2.6.1. Transformasi Koordinat .....	19
2.6.2. Faktor Difusi .....	21
2.6.3. Faktor Kinetika Reaksi .....	22
2.6.4. Pendekatan Model Distribusi Pencemar di Perkotaan .....	22
2.6.5. Verifikasi Model .....	24
2.6.6. Faktor Kalibrasi Model .....	25
2.7. Metode <i>Overlay</i> .....	25
2.8. Manajemen Data .....	26

2.9. Matlab.....	27
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	29
3.1. Umum.....	29
3.2. Wilayah Studi.....	29
3.2. Kerangka Penelitian .....	31
3.3. Tahap Pendahuluan .....	33
3.4. Tahap Pengumpulan Data .....	34
3.5. Tahap Pengolahan Data dan Pembahasan .....	35
BAB 4 PEMBAHASAN .....	43
4.1. Gambaran Umum Kondisi Lalu Lintas.....	43
4.1.1. Karakteristik Jalan .....	43
4.1.2. Volume Lalu Lintas .....	45
4.2. Gambaran Kualitas Udara .....	49
4.2.1. Pemilihan Data Verifikasi Model.....	51
4.2. Kondisi Meteorologi .....	53
4.2.1. Kondisi Meteorologi Lokal .....	53
4.2.2. Kondisi Meteorologi Kota Surabaya .....	56
4.3. Perhitungan Beban Emisi .....	58
4.4. Aplikasi Model Gauss Termodifikasi Terhadap Reseptor Tertentu .....	66
4.4.1. Perhitungan dengan Matlab .....	66
4.4.2. Hasil dan Analisis Perhitungan.....	69
4.5. Analisis Perubahan Kualitas Udara Ambien Akibat Aktivitas Lalu Lintas.....	75
4.5.1. Penentuan Skenario Perubahan Kualitas Udara Ambien.....	75
4.5.2. Perubahan Kualitas Udara Ambien .....	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	83
5.1. Kesimpulan.....	83
5.2. Saran .....	83
DAFTAR PUSTAKA .....	85
LAMPIRAN 1 .....	91
LAMPIRAN 2 .....	95
LAMPIRAN 3 .....	107
LAMPIRAN 4 .....	109
BIOGRAFI PENULIS .....	115

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus fotokimia NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , dan radikal bebas...	11
Gambar 2.2. Penyerapan Polutan oleh Stomata Daun.....	13
Gambar 2.3. Skema Model Dispersi Pencemar Udara .....	19
Gambar 2.4. Sistem koordinat kartesius dan kedudukan <i>line</i> source (J) dan penerima (P).....	20
Gambar 2.5. Skema difusi pencemar secara vertikal (Dz).....	22
 Gambar 3.1. Jangkauan SUF-1 .....	30
Gambar 3.2. Jalan Raya Lokasi Survey.....	31
Gambar 3.3. Kerangka Penelitian .....	33
Gambar 3.4. Contoh Tampilan Antarmuka Matlab.....	39
Gambar 3.5. Contoh Keluaran Peta Persebaran dari Matlab .....	40
 Gambar 4.1. Pola Volume Lalu Lintas Harian Surabaya 2012- 2017 .....	46
Gambar 4.2. Proporsi Kendaraan di Surabaya Pusat.....	46
Gambar 4.3. Tren Derajat Kejenuhan di Jalan Tersurvey 2017 ..	47
Gambar 4.4. Pola Konsentrasi NO <sub>2</sub> di SUF-1 Tahun 2017 .....	49
Gambar 4.5. Tren NO <sub>2</sub> Harian Pada Tanggal Terpilih .....	50
Gambar 4.6. Konsentrasi NO <sub>2</sub> pada Musim Kemarau .....	52
Gambar 4.7. Konsentrasi NO <sub>2</sub> pada Musim Penghujan.....	52
Gambar 4.8. Pola GRAD Harian pada SUF-1 .....	54
Gambar 4. 9. <i>Windrose</i> Lokal Musim Kemarau .....	55
Gambar 4.10. <i>Windrose</i> Lokal Musim Hujan.....	55
Gambar 4.11. <i>Windrose</i> Musim Kemarau Surabaya .....	57
Gambar 4.12. <i>Windrose</i> Musim Hujan Surabaya.....	57
Gambar 4.13. Fluktuasi Beban Emisi.....	61
Gambar 4.14. Grafik Hasil Ekstrapolasi Data.....	63
Gambar 4.15. Contoh Hasil Pemetaan Model Awal.....	68
Gambar 4.16. Hasil <i>running script</i> Musim Kemarau .....	70
Gambar 4. 17. Hasil <i>running script</i> musim hujan .....	73
Gambar 4.18. Hasil <i>Overlay</i> Kota Surabaya pada Skenario K3 (Tanpa skala).....	79
Gambar 4.19. Hasil <i>overlay</i> Kota Surabaya Skenario H3 (Tanpa skala) .....	80
Gambar 4. 20. Hasil <i>overlay</i> Skenario H3 (Tanpa skala).....	80

***Halaman ini sengaja dikosongkan.***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kondisi Meteorologis Surabaya.....	5
Tabel 2.2. Jumlah Kendaraan di Surabaya .....	5
Tabel 2.3. Baku Mutu Udara Ambien .....	12
Tabel 2.4. Klasifikasi Kendaraan Bermotor untuk Perhitungan Beban Emisi.....	16
Tabel 2.5. Faktor Emisi per Kategori.....	17
Tabel 2.6. Koreksi Kecepatan .....	18
 Tabel 3.1. Data Penelitian yang Dibutuhkan .....	34
Tabel 3.2. Skenario Model Dispersi .....	40
Tabel 3.3. Skala Beaufort .....	41
 Tabel 4.1. Posisi Jalan Raya yang Disurvey .....	43
Tabel 4.2. Daftar Jalan Penunjang .....	44
Tabel 4.3. Panjang Masing-masing Jalan .....	45
Tabel 4.4. Kecepatan Kendaraan.....	48
Tabel 4.5. Data Perhitungan Beban Emisi Jalan Embong Malang .....	59
Tabel 4.6. Beban Emisi Harian.....	59
Tabel 4.7. Faktor Harian.....	62
Tabel 4.8. Hasil Ekstrapolasi Data .....	63
Tabel 4.9. Faktor Mingguan.....	64
Tabel 4.10. Faktor Total Hari Minggu .....	64
Tabel 4.11. Parameter Model.....	67
Tabel 4.12. Matriks Skenario Perubahan Kualitas Udara .....	76
Tabel 4.13. Skenario Arah dan Kecepatan Angin .....	76
Tabel 4.14. Konsentrasi Pencemar pada Musim Kemarau.....	77
Tabel 4. 15. Konsentrasi Pencemar pada Musim Hujan.....	77
 Tabel L.1.1. Koordinat Jalan Penunjang .....	91
Tabel L.1.2. Volume Lalu Lintas Harian .....	93
Tabel L.1.3. Proporsi Kendaraan .....	93
Tabel L.1.4. Derajat Kejenuhan.....	94
 Tabel L.2.1. Data NO <sub>2</sub> pada Tanggal Terpilih Musim Kemarau ..	95
Tabel L.2.2. Data NO <sub>2</sub> Terpilih Musim Hujan .....	97
Tabel L.2.3. Data GRAD Musim Kemarau .....	99

Tabel L.2.4. Data GRAD Musim Hujan .....	102
Tabel L.2.5. Contoh Data Angin NCDC.....	105
Tabel L.3.1. Contoh Keluaran Perhitungan Dispersi untuk Verifikasi Model .....	107



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Pendahuluan**

Surabaya adalah salah satu kota yang rentan akan terjadinya pencemaran udara (Syafei *et al.*, 2014). Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai aktivitas penduduk, industri, perdagangan, kendaraan berbahan bakar fosil, dan lain-lain (Santoso *et al.*, 2016). Walaupun nilai indeks pencemaran udara (IPU) Kota Surabaya tahun 2015 sudah tinggi, mencapai 83,85 (Susanto, 2015), namun pencemaran udara masih menjadi isu penting untuk diperhatikan. Hal ini dikarenakan IPU belum memperhatikan sumber pencemar spesifik. Nilai IPU berpengaruh pada indeks kualitas lingkungan hidup (IKLH) Kota Surabaya. IKLH Kota Surabaya masih bernilai rendah, yaitu 56,91 (Susanto, 2015). Nilai ini masih jauh dari target pemerintah sesuai RPJMN 2015-2019, yaitu 66,5-68,5 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015).

Salah satu wilayah yang perlu mendapatkan perhatian penting adalah wilayah Surabaya Pusat. Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Surabaya 2014-2034, wilayah ini diperuntukan untuk pemukiman, pemerintahan, dan perdagangan dan jasa. Hal ini mengakibatkan tingginya aktivitas lalu lintas yang ada di sekitar wilayah ini. Volume lalu lintas harian di wilayah ini mencapai 61.118 kendaraan per hari (Dinas Perhubungan Kota Surabaya, 2017). Kegiatan lalu lintas ini menyumbang pencemaran udara yang cukup besar. Menurut penelitian Kusminingrum dan Gunawan (2008), 70 % pencemaran udara di perkotaan disebabkan oleh aktivitas kendaraan bermotor. Akibatnya, kualitas udara akan menurun dan berefek tidak hanya pada wilayah sumber, melainkan hingga wilayah sekitarnya (Soedomo, 2001).

Berdasarkan perubahan jenisnya, polutan yang berkontribusi atas pencemaran di perkotaan terbagi atas dua jenis, yaitu polutan konservatif dan non-konservatif. Konservatif adalah polutan dengan komponen senyawa yang tetap. Sedangkan

polutan non-konservatif adalah polutan yang mengalami perubahan senyawa akibat reaksi tertentu. Polutan non-konservatif perlu mendapat perhatian karena adanya keadaan atmosfer tertentu menyebabkan terbentuknya polutan lain yang berbahaya (Soedomo, 2001). Contoh polutan non-konservatif adalah  $\text{NO}_x$  dan  $\text{O}_3$ .

$\text{NO}_x$  menggambarkan dua jenis nitrogen oksida, yaitu Nitrit Oksida (NO) dan Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ).  $\text{NO}_x$  perlu mendapat perhatian dikarenakan 40 % emisi  $\text{NO}_x$  dihasilkan dari kendaraan bermotor (Zouzelka dan Rathousky, 2017). Selain itu,  $\text{NO}_x$  juga berperan dalam pembentukan ozon troposferik (Hatzopoulou dan Miller, 2010). Berdasarkan Constantya (2016), kadar  $\text{NO}_2$  tertinggi tercatat pada tahun 2015, yaitu sebesar  $776 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , melebihi baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 ( $400 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ). Pencemaran ini berpotensi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kendaraan bermotor. Hal ini disebabkan pertumbuhan kendaraan bermotor di wilayah Surabaya Pusat mencapai 3,34 % per tahun (Dinas Perhubungan Kota Surabaya, 2017). Sehingga diperlukan perhatian khusus karena dapat menyebabkan berbagai efek bagi kesehatan manusia, terutama pada organ pernafasan (Kampa dan Castanas, 2007).

Selain itu,  $\text{NO}_x$  juga berperan sebagai salah satu prekursor terbentuknya ozon ( $\text{O}_3$ ). Ozon terbentuk atas reaksi fotokimia  $\text{NO}_2$  dengan radiasi matahari. Senyawa  $\text{O}_3$  memiliki peran ganda dalam kimia atmosfer, yaitu sebagai pencemar dan gas rumah kaca (Biancofiore *et al.*, 2015). Dengan meningkatnya volume kendaraan, maka kadar  $\text{O}_3$  akan semakin tinggi (Gao *et al.*, 2017). Kadar tertinggi ozon di Kota Surabaya mencapai  $2.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , melebihi baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 ( $235 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) (Constantya, 2016). Selain dampak kesehatan terhadap manusia,  $\text{O}_3$  juga menyebabkan dampak terhadap tumbuhan (Soedomo, 2001).

Sebagai langkah awal dalam pengelolaan pencemaran udara, maka dibutuhkan informasi data kualitas udara. Data kualitas udara dapat diperoleh melalui stasiun pemantau kualitas udara. Kota Surabaya memiliki tujuh stasiun pemantau kualitas udara. Namun, tidak semua stasiun berfungsi dengan baik. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017),

hanya tiga stasiun yang berfungsi dengan baik, yaitu SUF-1, SUF-6, dan SUF-7. Kondisi ini mengakibatkan data yang ada tidak cukup merepresentasikan kualitas udara secara menyeluruh. Sehingga, salah satu cara untuk menyediakan informasi data kualitas udara adalah dengan membangun model dispersi udara perkotaan (Assomadi, 2016).

Model dispersi pencemar udara adalah penggambaran perpindahan dan proses dispersi pencemar udara secara meteorologis (Ukaigwe dan Osoka, 2013). Model dispersi pencemar udara dapat digunakan untuk memperkirakan dampak yang dihasilkan dari emisi udara yang disebabkan oleh lalu lintas kendaraan bermotor (Zhai, 2016). Model dispersi pencemar udara dapat dijadikan salah satu teknik yang paling baik untuk mengidentifikasi sumber pencemar udara (De Visscher, 2014). Selain itu, model dispersi juga dapat digunakan untuk memprediksi polusi udara yang akan terjadi (Macdonald, 2003). Sehingga, model yang dihasilkan dapat menjadi salah satu *input* data yang bermanfaat dalam proses penentuan kebijakan terkait pencemaran udara di perkotaan (Holnicki, 2016).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Masalah yang ingin dikaji dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana model persebaran emisi pencemar non-konservatif yang dihasilkan oleh aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat.
2. Bagaimana perubahan kualitas udara ambien akibat aktivitas transportasi di wilayah Surabaya Pusat.

## **1.3. Tujuan**

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah:

1. Memodelkan persebaran pencemar non-konservatif yang diemisikan dari aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat.
2. Menganalisis perubahan kualitas udara ambien akibat aktivitas transportasi di wilayah Surabaya Pusat.

## **1.4. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan adalah data dari stasiun pemantauan kualitas udara SUF-1 dan data *traffic counting* dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya.
2. Pencemar udara yang dimodelkan adalah pencemar non-konservatif primer, yaitu  $\text{NO}_x$ . Senyawa  $\text{NO}_x$  yang dimodelkan diwakili oleh parameter  $\text{NO}_2$ .
3. Permodelan dilakukan pada jalan arteri sekunder dalam radius 5 km dari stasiun pemantau kualitas udara SUF-1.
4. Beban emisi yang digunakan adalah beban emisi maksimal dari aktivitas lalu lintas.
5. Skenario dispersi pencemar udara dibuat berdasarkan variasi musim dan kecepatan angin.
6. Model dispersi yang digunakan adalah persamaan pendekatan model distribusi pencemaran di perkotaan dengan penambahan kinetika reaksi pencemar non-konservatif.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Mendapatkan pola persebaran pencemar udara yang diemisikan dari aktivitas lalu lintas.
2. Bentuk pemetaan persebaran emisi pencemar non-konservatif yang dihasilkan oleh aktivitas lalu lintas, khususnya kendaraan bermotor.
3. Masukan data untuk kebijakan pencegahan dan pengendalian pencemaran dari aktivitas lalu lintas di Kota Surabaya secara komprehensif.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Gambaran Umum Wilayah Studi

Surabaya terletak di kordinat 07 21 lintang selatan dan 112 36 sampai 112 54 bujur timur. Elevasi surabaya adalah 3-6 meter di atas permukaan laut. Luas wilayah Surabaya adalah 326,36 km<sup>2</sup> dan terbagi dalam 31 kecamatan. Temperatur Kota Surabaya pada tahun 2015 adalah 24,9-33,6 °C dengan penyinaran matahari 61 %. Sedangkan kecepatan angin rata-rata adalah 24 knot (tabel 2.1).

Tabel 2.1. Kondisi Meteorologis Surabaya

Tahun	Suhu (°C)	Penyinaran Matahari (%)	Kecepatan angin (knot)
2012	24,8-35,4	59	25
2013	22,5-34,3	75	25
2014	23,2-35,3	78	26
2015	24,9-33,6	61	24

Sumber: BPS Surabaya, 2017

Jumlah kendaraan bermotor di Surabaya pada tahun 2015 sebanyak 2.126.168 kendaraan (tabel 2.2). Dengan tingginya jumlah kendaraan bermotor, maka pencemaran udara akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan lalu lintas berkontribusi hingga 70 % terhadap pencemaran udara (Kusminingrum dan Gunawan, 2008).

Tabel 2.2. Jumlah Kendaraan di Surabaya

Jenis Kendaraan	Jumlah
Sedan dan sejenisnya	56.046
Jeep dan sejenisnya	34.997
STWAGON dan sejenisnya	257.072
Bus dan sejenisnya	2.936
Truk dan sejenisnya	119.049
Sepeda motor dan sejenisnya	1.655.891
Alat berat dan sejenisnya	177
Total	2.126.168

Sumber: BPS Surabaya, 2017

## 2.2. Pencemaran Udara

Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 menyatakan bahwa pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Sumber pencemar udara terbagi atas beberapa kategori antara lain:

- Berdasarkan sumbernya, pencemar udara terbagi atas:
  - Sumber Alami: Sumber pencemar berasal dari aktivitas alami misalnya emisi vulkanik (di daerah pegunungan).
  - Sumber Antropogenik: Sumber pencemar berasal dari kegiatan manusia. Misalnya kendaraan bermotor dan industri.
- Berdasarkan jenis pencemarnya, pencemar udara terdiri atas:
  - Pencemar Spesifik: Pencemar yang berasal dari sumber spesifik di suatu tempat tertentu. Misalnya: debu atau partikulat dari industri semen dan amonia dari industri pupuk.
  - Pencemar Indikatif: pencemar bersifat umum dan ditemukan hampir di semua tempat. Misalnya: CO, Nitrogen oksida dan *Total Suspended Particulate*.
- Berdasarkan keadaan sumber pencemarnya yang terdiri atas:
  - Sumber Tetap (*Stationary Sources*) yaitu sumber pencemar yang tidak berpindah lokasi. Misalnya: Pembangkit Listrik, Pemukiman, dan Industri.
  - Sumber Bergerak (*Mobile Sources*) yaitu sumber pencemar dapat berpindah tempat. Misalnya: kendaraan bermotor, kereta api dan pesawat terbang.
- Berdasarkan distribusi ruangnya yang terdiri atas:
  - Sumber Titik (*Point Sources*) yaitu sumber pencemar yang berada di tempat tertentu. Misalnya: industri.
  - Sumber Garis (*Line Sources*) yaitu sumber pencemar yang dapat berpindah tempat sehingga terdistribusi pada jarak tertentu. Misalnya: kendaraan bermotor.

- Sumber Area (*Area Sources*) yaitu sumber pencemar dimana sumber pencemar terdistribusi dalam area tertentu. Misalnya: kebakaran hutan.
- Berdasarkan pembentukan pencemarnya yang terdiri atas:
  - Pencemar Primer yaitu adalah pencemar udara yang komposisinya tidak mengalami perubahan dalam atmosfer, baik secara kimiawi maupun fisik dalam jangka waktu tertentu. Misalnya: CO, CO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>.
  - Pencemar Sekunder yaitu pencemar yang terbentuk di atmosfer sebagai hasil reaksi-reaksi atmosferik. Misalnya: hidrolisis, reaksi fotokimia dan oksidasi.

Berdasarkan sumbernya, pencemaran akibat aktivitas lalu lintas dapat diklasifikasikan sebagai pencemaran sumber antropogenik. Sedangkan berdasarkan distribusi ruangnya, pencemaran akibat lalu lintas termasuk dalam pencemaran sumber garis. Sumber utama pencemar udara akibat aktivitas lalu lintas adalah kendaraan bermotor (Vallero, 2008).

### **2.3. Parameter Pencemaran Udara**

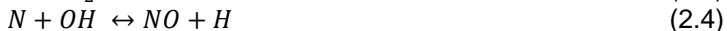
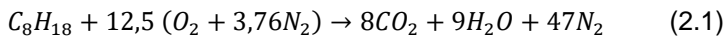
Berdasarkan mekanisme penguraian zatnya, pencemar terbagi menjadi dua jenis yaitu pencemar konservatif dan non-konservatif. Pencemar konservatif adalah pencemar yang hanya akan terdilusi atau tersuspensi apabila terjadi proses perpindahan dan/atau difusi. Sedangkan pencemar non-konservatif adalah pencemar yang dapat meluruh melalui mekanisme penguraian biologis atau karena reaksi kimia meskipun tanpa melibatkan proses perpindahan pencemar atau difusi (Kautitas, 1983 dalam Haryanto, 2008). Contoh pencemar konservatif adalah oksida sulfur (SO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), dan *Particulate matter* (PM). Sedangkan contoh pencemar non-konservatif adalah nitrogen dioksida (NO<sub>x</sub>). NO<sub>x</sub> berperan sebagai polutan primer yang akan menghasilkan polutan sekunder, yaitu ozon (O<sub>3</sub>). Produksi ini dipicu oleh reaksi fotokimia.

#### **2.3.1. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)**

Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas yang terdiri atas gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) (Siregar, 2005). NO<sub>x</sub> adalah salah satu polutan yang penting untuk

dipelajari karena sifat toksisitas terhadap manusia (Zouzelka dan Rathousky, 2017). Selain itu, NO<sub>x</sub> juga susah dihilangkan dikarenakan mekanisme tertentu terkait dengan kinetika kimia atau desorpsi oleh *catalytic converter* (IMEchE, 2013 dalam Landolsi *et al.*, 2017). Sumber NO<sub>x</sub> di perkotaan antara lain industri, kendaraan bermotor, PLTU, dan industri perminyakan (Soedomo, 2001).

Pembentukan NO<sub>x</sub> didasarkan pada pembentukan masing-masing NO dan NO<sub>2</sub>. Pembentukan NO terjadi atas tiga mekanisme, yaitu mekanisme Zeldovitch, mekanisme Fenimore, dan mekanisme N<sub>2</sub>O. Mekanisme Zeldovitch didasarkan pada pembentukan NO dari N<sub>2</sub>. Mekanisme ini hanya dapat terjadi pada suhu tinggi, diatas 1.700 K. Contoh reaksi pembakaran pada kendaraan bermotor. Mekanismenya adalah sebagai berikut:



Sehingga, secara umum, reaksi pada mekanisme ini adalah:



Sedangkan berdasarkan mekanisme Fenimore, dengan menambahkan radikal yang terbentuk, termasuk atom hidrogen. Persamaan 2.5 sebagai inisiasi mekanisme ini membutuhkan energi aktivasi yang lebih rendah. Setelah itu CN radikal dan HCN yang terbentuk pada persamaan 2.6. akan membentuk NO:



Mekanisme ketiga melibatkan nitrous oksida (N<sub>2</sub>O) dan terjadi pada tekanan yang tinggi. Rasio tipikal konsentrasi NO terhadap NO<sub>2</sub> adalah sebesar 10% (Sportisse, 2010). Kadar NO<sub>x</sub> di udara pada suatu kota bervariasi sepanjang hari. Perubahan ini bergantung pada intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor. Menurut Departemen Kesehatan (2008), perubahannya adalah sebagai berikut:

1. Sebelum matahari terbit, kadar NO dan NO<sub>2</sub> tetap stabil dengan kadar sedikit lebih tinggi dari kadar minimum sehari-hari.



2. Pada saat aktivitas manusia meningkat pada pagi hari (jam 6-8 pagi), kadar NO meningkat dikarenakan aktivitas lalu lintas. Kadar NO yang terbentuk dapat mencapai 1-2 ppm.
3. Dengan adanya sinar matahari yang memancarkan sinar ultra violet, maka kadar NO<sub>2</sub> akan terbentuk. Kadar yang terbentuk dapat mencapai 0,5 ppm.
4. Kadar ozon yang terbentuk akan meningkat seiring dengan menurunnya kadar NO hingga 0,1 ppm.
5. Jika intensitas sinar matahari menurun pada sore hari (jam 5-8 malam), maka kadar NO meningkat kembali.
6. Energi matahari tidak mengubah NO menjadi NO<sub>2</sub> (melalui reaksi hidrokarbon), tetapi O<sub>3</sub> yang terkumpul akan bereaksi dengan NO. Akibatnya akan terjadi kenaikan kadar NO<sub>2</sub> dan penurunan kadar O<sub>3</sub>.
7. Produk akhir dari pencemaran NO<sub>x</sub> di udara dapat berupa asam nitrat, yang kemudian diendapkan sebagai garam-garam nitrat di dalam air hujan atau debu. Mekanisme utama pembentukan asam nitrat dari NO<sub>2</sub> di udara masih terus dipelajari. Namun, tahapan reaksi mungkin terjadi sebagai berikut:



Dampak NO<sub>x</sub> terhadap kesehatan manusia adalah sebagai berikut (Faiz *et al.*, 1990 dalam Liaquat *et al.*, 2010):

1. Dapat meningkatkan kerentanan manusia untuk tertular infeksi virus seperti influenza.
2. Membuat iritasi paru-paru dan menyebabkan edema, bronkitis, dan pneumonia.
3. Meningkatkan sensitivitas penderita asma terhadap debu dan serbuk sari.

### 2.3.2 Ozon (O<sub>3</sub>)

Ozon (O<sub>3</sub>) termasuk dalam polutan sekunder, dimana O<sub>3</sub> adalah hasil reaksi atmosferik antara oksida-nitrogen oksida dengan hidrokarbon (oksidan fotokimia). Reaksi ini diinisiasi oleh energi fotonik dari sinar ultra violet (Soedomo, 2001).

Pembentukan ozon dipengaruhi oleh berbagai prekursor, antara lain nitrit oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan *Volatile Organic Compound* (VOC) (Chen *et al.*, 2018). Selain oleh prekursor, pembentukan  $\text{O}_3$  juga dipengaruhi oleh faktor meteorologis (Tie *et al.*, 2009c dalam Gao, 2017).

Ozon yang dihasilkan melalui reaksi fotokimia di troposfer memiliki waktu tinggal yang lebih lama; beberapa hari di lapisan batas bumi hingga beberapa minggu di troposfer bebas (Aleksic *et al.*, 2016). Kadar ozon di perkotaan mengalami kecenderungan untuk meningkat. Hal ini disebabkan oleh (Wang *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2015 dalam Gao, 2017):

1. Reaksi fotokimia pembentukan  $\text{O}_3$  dari prekursornya.
2. Kondisi fotokimia (radiasi sinar matahari).
3. *Regional transport* dari konsentrasi  $\text{O}_3$ .

Menurut Assomadi *et al.* (2016), fluktuasi data harian ozon di Surabaya adalah sebagai berikut:

1. Fase 1 (fase pembentukan ozon permukaan) dimulai pada 08.30 WIB sampai siang hari (12.30-13.00 WIB). Pada fase ini, konsentrasi ozon permukaan meningkat dari 30-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ke nilai maksimumnya, yaitu 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  selama musim hujan dan 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  selama musim kemarau.
2. Fase 2 atau fase destruksi ozon permukaan, terjadi setelah tengah hari hingga sore hari. Pada fase ini, konsentrasi ozon menurun hingga level terendah, yaitu 30-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
3. Fase 3 atau fase tetap, dimana konsentrasi ozon tetap rendah hingga terbitnya matahari keesokan harinya.

Apabila kadar ozon di permukaan bumi melebihi baku mutu yang ditetapkan, maka dikhawatirkan akan timbul dampak bagi kesehatan manusia. Dampak tersebut antara lain (Faiz *et al.*, 1990 dalam Liaquat *et al.*, 2010):

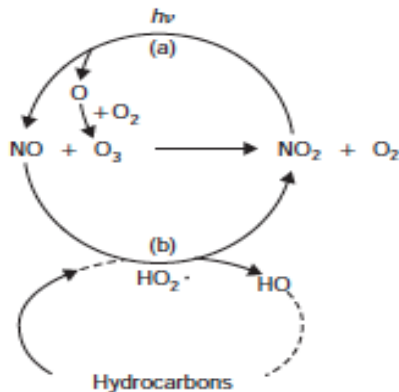
1. Menyebabkan batuk-batuk dan gangguan paru-paru.
2. Pusing dan ketidaknyamanan fisik.
3. Mengurangi daya tahan tubuh terhadap demam dan pneumonia.
4. Dapat menimbulkan penyakit jantung kronis, asma, bronkitis, dan emfisema.

### 2.3.3. Hubungan Nitrogen Oksida dengan Ozon

Nitrogen Oksida dan Ozon terhubung dalam suatu siklus ozon sebagai akibat dari reaksi fotokimia. Hubungan tersebut digambarkan pada persamaan kimia berikut (Vallero, 2008):



Persamaan 2.11 menggambarkan disosiasi  $NO_2$  secara fotokimia. Persamaan 2.12 menunjukkan pembentukan ozon dari percampuran antara  $O^*$  dan  $O_2$ . Sedangkan M adalah molekul ketiga lainnya ( $N_2$  dan  $O_2$  di atmosfer). Persamaan 2.13 menunjukkan oksidasi NO oleh  $O_3$  untuk membentuk  $NO_2$  dan oksigen molekuler. Reaksi ini tergambarkan dalam skema siklus (gambar 2.13) yang dipicu oleh foton yang direpresentasikan sebagai  $h\nu$ . Dalam kondisi reaksi tersebut, konsentrasi NO,  $NO_2$ , dan  $O_3$  secara cepat menjadi setimbang saat siang hari. Pada kondisi ekuilibrium ini, rasio percampuran NO,  $NO_2$ , dan  $NO_3$  dapat berubah. Namun, rasio percampuran  $NO_x$  atau  $O_x$  ( $O_3 + NO_2$ ) tidak berubah (García-Yee, 2017).



Gambar 2.1. Siklus fotokimia NO,  $NO_2$ ,  $O_3$ , dan radikal bebas  
Sumber: Vallero, 2008

### 2.3.4. Baku Mutu

Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien (PP 41/1999). Baku mutu kualitas udara ambien yang diacu dalam penelitian ini terdapat pada tabel 2.3.

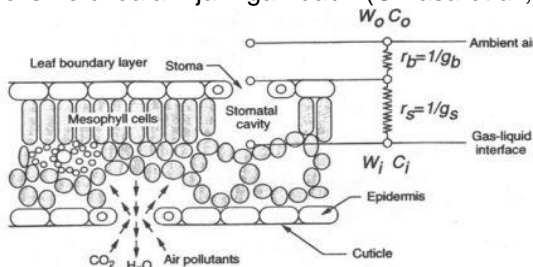
Tabel 2.3. Baku Mutu Udara Ambien

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Acuan
1.	Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ )	1 jam	400 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	PP 41/1999
		24 jam	150 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	
		1 tahun	100 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	
2.	Ozon ( $\text{O}_3$ )	1 jam	235 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	PP 41/1999
		1 tahun	50 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	
3.	Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ )	24 jam	92,5 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Pergub Jatim 10/2009

Sumber: PP 41/1999 dan Pergub Jatim 10/2009.

### 2.3.5. Mekanisme Penyerapan Pencemar Udara oleh Tumbuhan

Pencemar udara pada suatu udara ambien dapat dihilangkan dengan menggunakan mekanisme penyerapan polutan oleh tumbuhan pada suatu ruang terbuka hijau. Polutan diserap melalui stomata pada daun untuk kemudian dimetabolisme di dalam jaringan daun (Omasa *et al.*, 2002).



Gambar 2.2. Penyerapan Polutan oleh Stomata Daun  
Sumber: Omasa *et al.*, 2002

Kemampuan serapan  $\text{NO}_x$  oleh tumbuhan bervariasi terhadap jenisnya. Penelitian oleh Nasrullah *et al.* (2000) menunjukkan bahwa serapan gas  $\text{NO}_2$  oleh tanaman berkisar antara 0,28-68,31  $\mu\text{g/g}$ , semak 1,97-100,02  $\mu\text{g/g}$ , dan tanaman penutup tanah antara 2,38-24,06  $\mu\text{g/g}$ . Tabel 2.4 berikut menunjukkan beberapa jenis tanaman dengan kinerja penyerapan  $\text{NO}_2$  tertinggi. Kemampuan serapan ini kemudian dapat dijadikan acuan pembuatan ruang terbuka hijau untuk penyerapan emisi  $\text{NO}_x$  aktivitas lalu lintas.

Tabel 2.4. Tanaman dengan Serapan  $\text{NO}_2$  Terbaik

No.	Jenis	Nama Tanaman	Serapan $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g/g}$ )
1	Tanaman	<i>Jacobina carnea</i>	100,02
2	Semak	<i>Malphigia sp.</i>	93,28
3		<i>Acalypha wilkesiana</i>	64,8
4	Tanaman	<i>Erythrina variegata</i>	68,31
5	Pohon	<i>Caliandra surinamensis</i>	41,01
6		<i>Samanea saman</i>	35,37
7	Tanaman	<i>Alternanthera ficoidea</i>	24,06
	Penutup Tanah		
8		<i>Zoysia matrella</i>	22,58
9		<i>Rhoeo discolor</i>	18,81

Sumber: Nasrullah *et al.*, 2000.

## 2.4. Persebaran Pencemar Udara

Persebaran pencemar udara adalah persebaran kompleks molekul dalam bentuk fluida yang disebabkan oleh pergerakan acak dari fluida dan molekul itu sendiri (De Visscher, 2014). Persebaran pencemar udara pada wilayah perkotaan pada dasarnya bersifat akut. Dampak akan timbul dalam skala yang lebih luas, baik temporal maupun spasial. Hal ini disebabkan perbedaan pola dan karakteristik meteorologis antar daerah.

Selain itu juga dikarenakan faktor kimia atmosfer dan fenomena transpor (Soedomo, 2001).

Secara umum, mekanisme persebaran pencemar adalah (Haryanto, 2008):

1. Difusi, adalah bertambah luasnya area penyebaran polutan yang disebabkan oleh gerak molekul secara acak (gerak Brown). Area persebaran polutan pada bidang 3 dimensi (sumbu x, y, dan z).
2. Adveksi, adalah proses pengangkutan pencemar yang dipengaruhi oleh arus/aliran fluida dengan kecepatan penjaralan sama dengan kecepatan fluida.

Faktor yang mempengaruhi persebaran pencemaran udara adalah (Vallero, 2008):

1. Arah dan kecepatan angin. Arah angin mempengaruhi arah persebaran polutan dari sumbernya. Sedangkan kecepatan angin mempengaruhi waktu tempuh polutan dari sumber ke penerima. Selain itu kecepatan angin juga berefek pada pengenceran polutan pada sumber secara terus menerus.
2. Turbulensi, adalah pergerakan angin secara tidak biasa. Mekanisme turbulensi yang penting dalam proses pencampuran polutan di atmosfer adalah *eddy diffusion*. Pusaran turbulensi ini menyebabkan pemecahan pembentuk atmosfer yang menyebabkan pencampuran udara terpolusi dengan udara bersih.

## **2.5. Emisi dari Aktivitas Jalan Raya**

Pada satu dekade belakangan, emisi akibat aktivitas di jalan raya di negara berkembang semakin meningkat. Emisi ini memicu peningkatan pencemaran udara di perkotaan. Hal ini disebabkan peningkatan jumlah kendaraan yang pesat dan mobilitas masyarakat yang tinggi (Liaquat *et al.*, 2010). Beberapa emisi yang dihasilkan dari kendaraan bermotor antara lain oksida sulfur ( $\text{SO}_x$ ), nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), *non-methane volatile organic compound* (NMVOC), dan *particulate matter* (PM). Polutan yang terkait dengan aktivitas dari jalan raya, seperti  $\text{NO}_2$  dan PM, memicu kekhawatiran akan dampaknya pada kesehatan masyarakat. Sedangkan, polutan gas lainnya berperan dalam

pemanasan global, asidifikasi atmosfer, dan pembentukan polutan sekunder (Antanasijević *et al.*, 2017).

### **2.5.1. Klasifikasi Jalan Raya**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, sistem jaringan jalan terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Sistem jaringan jalan primer, menghubungkan secara menerus kota jenjang satu, kota jenjang dua, kota jenjang tiga dan kota jenjang di bawahnya sampai ke persil dalam satu satuan wilayah pengembangan
2. Sistem jaringan jalan sekunder, menghubungkan kawasan-kawasan yang mempunyai fungsi primer, fungsi sekunder kesatu, fungsi sekunder kedua, fungsi sekunder ketiga dan seterusnya sampai ke perumahan.

Sedangkan menurut fungsinya, jalan dikelompokkan menjadi beberapa jenis, antara lain:

1. Jalan arteri, jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
2. Jalan kolektor, jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3. Jalan lokal, jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
4. Jalan lingkungan, jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah.

### **2.5.2. Perhitungan Beban Pencemar**

Beban pencemar adalah besarnya emisi yang masuk ke dalam udara ambien dari suatu kegiatan di suatu daerah selama satu kurun waktu tertentu (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010). Perhitungan beban pencemar menjadi dasar dalam

perhitungan model dispersi pencemar udara untuk parameter pencemar tertentu. Secara umum, perhitungan beban emisi berdasarkan IPCC (2006) adalah sebagai berikut:

$$E_a = A \times EF \times L \times f \quad (2.15)$$

Dimana:

$E_a$  = Beban pencemar polutan  $a$

$A$  = Laju aktivitas kendaraan

$EF$  = Faktor emisi (gr/km)

$L$  = Panjang jalan (km)

Perhitungan beban pencemar didasarkan pada klasifikasi sumber pencemar sesuai dengan beban emisi yang diacu. Tabel 2.4 menunjukkan klasifikasi sumber pencemar untuk perhitungan beban emisi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (Permen LH) No. 12 Tahun 2010.

Tabel 2.5. Klasifikasi Kendaraan Bermotor untuk Perhitungan Beban Emisi

Kategori untuk Perhitungan Beban Pencemar Udara	Sub-Kategori untuk Perhitungan Beban Pencemar Udara
Sepeda Motor	Roda 2
	Roda 3
Mobil Bensin	Sedan
	Jeep Bensin
	Van/minibus bensin
	Taksi
	Mikrolet/angkutan kota
Mobil Solar	Pick-up bensin
	Jeep solar
	Van/minibus solar
	Pick-up solar



Mobil	Sedan
	Jeep
	Van/minibus
	Taksi
	Mikrolet/angkutan kota
	Pick-up
Bis	Metromini dan sejenisnya
	Bis
Truk	Truk dan Alat Berat

Sumber: Permen LH 12 Tahun 2010

Berdasarkan Permen LH 12 Tahun 2010, faktor emisi untuk masing-masing jenis kendaraan di Indonesia terdapat pada tabel 2.5. Namun, faktor emisi dari setiap kendaraan dapat dipengaruhi oleh kecepatan rata-rata masing-masing jenis kendaraan ketika mengemisikan beban pencemar. Sehingga, diperlukan penyesuaian faktor emisi berdasarkan kecepatan kendaraan. Penyesuaian faktor emisi didasarkan pada Assomadi (2016), dimana penyesuaian ini didasarkan pada perbandingan linier antara konsumsi bahan bakar dengan beban emisi. Kemudian perbandingan ini dijadikan dasar dalam estimasi beban emisi yang dihasilkan pada kecepatan kendaraan tertentu. Penyesuaian ini terdapat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Faktor Emisi per Kategori

Kategori untuk Perhitungan Beban Pencemar Udara	NO <sub>x</sub> (g/km)
Sepeda Motor	0,29
Mobil (bensin)	2
Mobil (solar)	3,5
Mobil	2,3
Bis	11,9
Truk	17,7

Sumber: Permen LH 12 Tahun 2010.

Tabel 2.7. Koreksi Kecepatan

Kecepatan (km/jam)	Faktor	Kecepatan (km/jam)	Faktor
110	1,5	50	1,1
100	1,4	40	1,24
90	1,25	30	1,4
80	1	36	1,304
70	1	10	2,5
60	1	5	3,6

Sumber: Assomadi, 2016

## 2.6. Model Dispersi Pencemar Udara

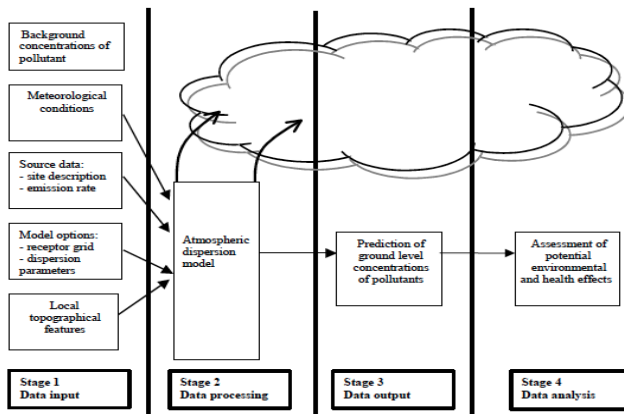
Model dispersi pencemar udara adalah penggambaran perpindahan dan proses dispersi pencemar udara secara meteorologis. Permodelan dilakukan menggunakan pendekatan matematis atau statistik dalam periode tertentu (Ukaigwe dan Osoka, 2013). Fungsi model dispersi antara lain (Seinfeld dan Pandis, 1998 dalam Fatehifar *et al.*, 2006):

1. Membuat regulasi terkait baku mutu kualitas udara.
2. Mengevaluasi dampak kebijakan dan strategi pengendalian emisi.
3. Memprakirakan sumber pencemar udara yang akan muncul.
4. Membuat pengendalian pencemaran udara untuk mengurangi dampaknya sesuai dengan daerah yang dimodelkan.
5. Mengevaluasi ketaatan terhadap baku mutu yang ada.

Model dispersi udara adalah cara yang sangat baik untuk mengevaluasi apakah sumber polusi udara menyebabkan masalah atau tidak. Sumber polusi udara dapat ditentukan dari hasil permodelan ditambahkan dengan konsentrasi yang sudah ada di ambien sebelumnya dan dapat ditentukan selanjutnya apakah nilai tersebut masih dapat diterima. Konsentrasi yang dapat diterima berdasarkan regulasi, toksikologi, ekotoksikologi, atau dengan cara sederhana apakah pencemaran tersebut mengganggu warga lokal disekitar sumber atau tidak (De Visscher, 2014).

Dalam membangun sebuah model dispersi pencemar udara, dibutuhkan beberapa langkah yang harus dilakukan (gambar 2.3). Langkah-langkah tersebut antara lain:

1. Memasukan data yang dibutuhkan, antara lain konsentrasi polutan, kondisi meteorologis, data sumber emisi, opsi model yang digunakan, dan data topografis.
2. Memproses data menggunakan model dispersi yang dipilih.
3. Menghasilkan keluaran berupa prediksi polutan pada titik tertentu.
4. Analisis data, berupa penilaian dampak potensial terhadap lingkungan dan kesehatan.



Gambar 2.3. Skema Model Dispersi Pencemar Udara  
Sumber: Ministry for the Environment, 2004.

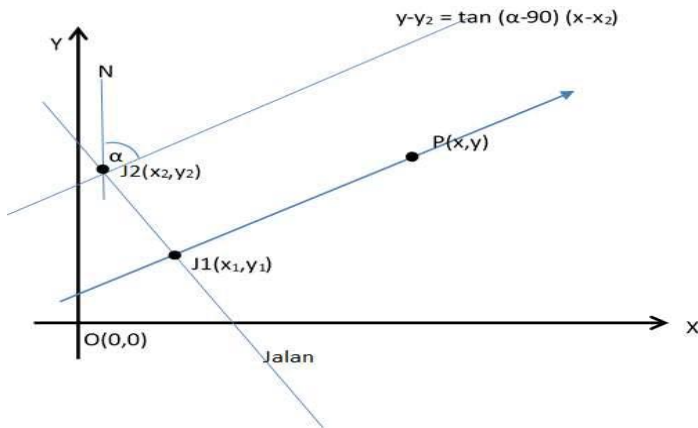
### 2.6.1. Transformasi Koordinat

Perhitungan koordinat diperlukan sebagai salah satu *input* dalam permodelan yang akan dilakukan. Beberapa sistem yang digunakan untuk menyatakan besarnya sudut dalam perhitungan koordinat antara lain (Purwoharjo, 1986):

1. Sistem seksagesimal, dimana keliling lingkaran dibagi dalam 360 bagian (derajat). Nilai 1° (derajat) setara dengan 60' (menit) dan 1' setara dengan 60" (detik).

2. Sistem radial, dimana keliling lingkaran dibagi dalam bagian yang disebut satu radial.
3. Sistem waktu, dimana sistem waktu digunakan dalam pengukuran astronomi. Nilai  $360^\circ$  setara dengan 24 jam dan 1 jam setara dengan  $15^\circ$ .

Setelah diketahui koordinat dari masing-masing titik pengukuran yang diinginkan, maka terlebih dahulu dilakukan transformasi koordinat kartesius. Transformasi koordinat kartesius dilakukan mengikuti perubahan arah angin. Perhitungan transformasi koordinat didasarkan pada Assomadi (2016). Transformasi koordinat digambarkan dalam diagram berikut.



Gambar 2.4. Sistem koordinat kartesius dan kedudukan *line source* (J) dan penerima (P)

Sumber: Assomadi, 2016.

Pendekatan transformasi koordinat penerima dengan analisis geometri adalah sebagai berikut:

$$\text{Gradien jalan } m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2.16)$$

$$\text{Sudut arah jalan dari sudut angin } N (A) = a \tan (m) \quad (2.17)$$

$$\text{Konstanta pada garis jalan } (k) = y_1 - mx_1 \quad (2.18)$$

$$\text{Selisih sudut jalan dengan arah angin } (B) \\ B = \alpha - 90 + A \quad (2.19)$$

Jarak penerima dengan jalan searah angin (d)

$$d = \frac{((mx_1 + k - y)/\sqrt{(1+m^2)})}{\sin B} \quad (2.20)$$

Titik potong garis angin melewati pengamat dengan jalan J1

$$(x_1, y_1) = (x_e, y_e)$$

$$x_e = \frac{m_a x - m x_1 - y + y_1}{m_a - m} \quad (2.21)$$

$$y_e = m_1(x_e - x_1) + y_1 \quad (2.22)$$

## 2.6.2. Faktor Difusi

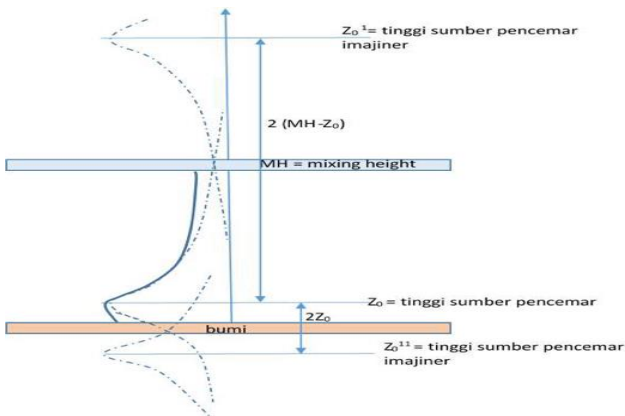
Persebaran polutan dapat terjadi karena proses difusi, adveksi, dan proses lain yang terjadi (proses kimia atau biologis). Secara umum, persamaan yang dapat menggambarkan proses persebaran kontaminan yang disebabkan oleh proses difusi adalah (Assomadi, 2016):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \sum_1^i \left( D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (2.23)$$

Dengan menyelesaikan diferensial tersebut dalam kondisi perhitungan parsial terhadap X, maka didapatkan persamaan:

$$C(x, t) = \frac{m_a}{A\sqrt{4\pi D_x t}} \exp\left(\frac{-(x-x_0)^2}{4D_x t}\right) \quad (2.24)$$

Difusi suatu polutan akan tersebar ke ruang 3 dimensi (sumbu x, y, dan z). Difusi polutan akan terjadi hingga suatu titik dimana terjadi *plume* maksimal dari suatu pencemar. Gambar 2.6 menggambarkan difusi ke arah vertikal (Dz) dengan kondisi titik x dan y tetap.



Gambar 2.5. Skema difusi pencemar secara vertikal (Dz)

Sumber: Assomadi, 2016.

Pada ketinggian di bawah sumber pencemar, konsentrasi di setiap titik sepanjang sumbu z merupakan jumlah superposisi distribusi konsentrasi dari sumber riil dan sumber imajiner dengan batas permukaan bumi. Secara matematis, pernyataan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C(z, t) = C(z_0, t) + C(-z_0, t) \quad (2.25)$$

$$C(x, t) = \frac{m_a}{A\sqrt{4\pi D_z t}} \left( \exp\left(\frac{-(z-z_0)^2}{4D_z t}\right) + \exp\left(\frac{-(z+z_0)^2}{4D_z t}\right) \right) \quad (2.26)$$

### 2.6.3. Faktor Kinetika Reaksi

Faktor kinetika reaksi menggambarkan hubungan antara konsentrasi  $O_3$ ,  $NO_2$ , dan radiasi matahari. Laju reaksi yang terjadi pada persamaan 2.11 dan 2.12 dapat digambarkan dalam perumusan sebagai berikut:

$$\frac{d[O]}{dt} = k_1[NO_2]hv - k_2[O][O_2] \quad (2.27)$$

$$\frac{d[O_3]}{dt} = k_2[O][O_2] \quad (2.28)$$

Dengan mempertimbangkan kondisi lapangan seperti perubahan fluks radiasi selama pembentukan ozon, keadaan reaksi di atmosfer perkotaan, dan nilai di lapangan, maka didapatkan persamaan reaksi sebagai berikut.

$$[O_3]_t = [O_3]_o + k_1 k_i \frac{hv_t}{[NO_2]_r} = k \frac{hv_t}{[NO_2]_r} \quad (2.29)$$

$$[NO_2]_r = \lambda = k \frac{hv_t}{[O_3]_t} \quad (2.30)$$

Berdasarkan aplikasi persamaan kinetika-matematika untuk data Kota Surabaya dalam penelitian Assomadi *et al.* (2016), maka didapatkan nilai k untuk musim penghujan adalah  $1,1044 (\mu g/m^2)^2/watt$ . Sedangkan nilai k pada musim kemarau adalah  $0,9466 (\mu g/m^2)^2/watt$ . Hal ini dipengaruhi oleh faktor radiasi sinar matahari dan faktor konsentrasi  $NO_2$  di atmosfer.

### 2.6.4. Pendekatan Model Distribusi Pencemar di Perkotaan

Persamaan model distribusi pencemar udara di perkotaan yang umum digunakan adalah persamaan Gauss. Persebaran ini menganggap bahwa pencemar udara tersebar mengikuti

distribusi normal atau Gaussian. Berikut adalah persamaan Gauss (de Visscher, 2014).

$$C_L(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot v \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right) \left(\exp -\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2 + \exp -\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right) \quad (2.31)$$

Persamaan tersebut berlaku untuk permodelan pencemaran udara secara umum, tanpa mempertimbangkan karakteristik khas dari masing-masing wilayah, seperti karakteristik meteorologisnya. Selain itu, persamaan tersebut juga belum mempertimbangkan kinetika reaksi pencemar non-konservatif. Sehingga, diperlukan suatu persamaan yang bisa menyempurnakan kelemahan-kelemahan tersebut.

Penelitian Assomadi (2016) membuat suatu pendekatan model dispersi pencemar udara di wilayah perkotaan. Model ini sudah mempertimbangkan beberapa hal, antara lain karakteristik khas dari suatu wilayah, yaitu wilayah Surabaya, dan mempertimbangkan kinetika reaksi pencemar non-konservatif. Model ini dibangun atas asumsi kuantitas aktivitas transportasi yang mengikuti pola tetap dan perubahan kestabilan atmosfer yang terjadi alamiah. Persamaan berikut adalah model persebaran pencemar udara dari satu sumber.

$$C_L(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi x' \sqrt{D_y D_z}} \exp\left(\frac{-y^2 v}{4D_y x'}\right) \left(\exp\left(\frac{-(z-H)^2 v}{4D_z x'}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2 v}{4D_z x'}\right)\right) (\exp(-kC^n)) \quad (2.32)$$

Pada prinsipnya, model distribusi pencemaran dari sumber garis adalah sekumpulan persamaan titik yang membentuk pola tertentu. Karena sumber garis terletak pada sumbu y, maka nilai  $D_y$  akan diabaikan. Persamaan *infinite* yang dapat digunakan dalam memodelkan pencemar udara dari sumber garis adalah:

$$C_L(x, y, z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} D_z x} \left( \exp\left(\frac{-(z-H)^2 v}{4 D_z x}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2 v}{4 D_z x}\right) \right) \left( \exp\left(\frac{-\lambda x}{v}\right) \right) \left[ \operatorname{erf}\left(\frac{\sin\theta\left(\frac{L}{2}-y\right)-x \cos\theta}{\sqrt{2} D_y x}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{\sin\theta\left(\frac{L}{2}-y\right)+x \cos\theta}{\sqrt{2} D_y x}\right) \right] \quad (2.33)$$

Dengan:

$C_L(x, y, z)$	= Konsentrasi pada titik (x,y,z) (gr/m <sup>3</sup> )
$Q$	= Beban emisi (gr/det)
$x$	= Jarak searah angin (m)
$y$	= Jarak tegak lurus arah angin (m)
$z$	= Ketinggian reseptor (m)
$H$	= Tinggi efektif sumber dari permukaan (m)
$v$	= Kecepatan angin (m/det)
$\lambda$	= [NO <sub>2</sub> ] bereaksi (µg/m <sup>3</sup> ) (Pers. 2.29)
$D_z, D_y$	= Konstanta difusi
$\theta$	= Sudut angin
$L$	= Panjang jalan

## 2.6.5. Verifikasi Model

Menurut De Visscher (2014), secara umum sebuah permodelan dikatakan berhasil apabila:

1. Konsentrasi polutan per jam yang terprediksi berada dalam rentang faktor dua kali dari konsentrasi aktual.
2. Dalam jangka waktu yang panjang, konsentrasi rata-rata yang diprediksi oleh model mendekati konsentrasi rata-rata aktual.
3. Apabila konsentrasi prediksi dan aktual diurutkan dari terendah ke tertinggi, maka distribusi yang didapatkan harus sama.

Secara matematis, suatu model dispersi pencemar udara skala perlu diverifikasi untuk melihat kesesuaian hasil model dengan teori yang ada maupun kondisi lapangan. Berdasarkan Sportisse (2010), US EPA merekomendasikan simpangan hasil pengukuran di lapangan sebesar 72 % dan nilai korelasi 0,572. Nilai korelasi menggambarkan linearitas dan keeratan hubungan



antara data model dengan hasil pemantauan di lapangan. Nilai korelasi data dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Corr = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(obs_i - \bar{obs})}{\sqrt{(y_i - \bar{y})^2} \sqrt{(obs_i - \bar{obs})^2}} \quad (2.34)$$

Dengan:

$y_i$  = Nilai model

$obs_i$  = Nilai observasi

Selain menggunakan nilai korelasi model terhadap nilai observasi, verifikasi model juga dapat menggunakan persamaan RMSE (Persamaan 2.33). *Root Mean Square Error* (RMSE) menggambarkan besar deviasi (*error*) data antara data model dengan data pengukuran di lapangan. Nilai RMSE biasa digunakan dalam mengukur performa model meteorologis, kualitas udara, dan studi tentang iklim (Chai dan Draxler, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - obs_i)^2} \quad (2.35)$$

## 2.6.6. Faktor Kalibrasi Model

Berdasarkan penelitian Assomadi (2016), persamaan 2.32 diverifikasi terhadap model Gauss yang sudah ada. Verifikasi yang dilakukan menunjukkan bahwa hasil model jauh lebih besar daripada hasil model Gauss. Sehingga, diperlukan penambahan faktor kalibrasi untuk memperbaiki hasil verifikasi model. Persamaan faktor kalibrasi yang digunakan adalah persamaan 2.34. Kemudian, persamaan ini dimasukkan ke dalam model sehingga didapatkan hasil estimasi model yang sudah terkalibrasi.

$$fk = \frac{(39,2 - 3,25v)v^2}{x} \quad (2.36)$$

Dengan:

$v$  = kecepatan angin (m/det)

$x$  = jarak (m)

## 2.7. Metode Overlay

Setelah dilakukan pembuatan model, kemudian dilakukan *overlay* terhadap masing-masing hasil permodelan dengan kondisi yang berbeda-beda. Menurut Handayani *et al.* (2005), *overlay* adalah proses integrasi data dari lapisan-lapisan yang berbeda. *Overlay* dilakukan dengan menggabungkan dua peta

tematik dengan area yang sama dan membentuk *layer* peta yang baru. Metode *overlay* antara lain:

1. *Union*, yaitu mengkombinasikan beberapa poligon *coverage* yang ada sehingga menghasilkan poligon *coverage* yang baru.
2. *Intersection*, yaitu membuat *overlay* dua himpunan data. Keluaran metode ini adalah fitur-fitur dari irisan dua *coverage*.
3. *Identity*, yaitu membuat *coverage* baru dengan melakukan *overlay* dua himpunan fitur. Keluaran metode ini adalah sebagian identitas fitur *coverage* tertentu yang termasuk di dalam masukan *coverage*.

## 2.8. Manajemen Data

Manajemen data merupakan salah satu upaya untuk memastikan bahwa data yang digunakan bersifat akurat dan dapat merepresentasikan populasi data yang ada. Manajemen data yang digunakan mencakup seleksi data dan melengkapi data yang hilang. Seleksi data dapat menggunakan standar deviasi, sedangkan melengkapi data yang hilang dapat menggunakan metode IPCC (2007).

Standar deviasi menggambarkan sebaran data sampel dan jarak antara data dengan rata-rata data. Standar deviasi dapat digunakan untuk mengetahui apakah sampel data sudah mewakili seluruh populasi. Data-data yang diluar standar deviasi dapat dinyatakan sebagai data *outlier*. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan standar deviasi adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2} \quad (2.37)$$

Dimana:

$\sigma$  = Standar deviasi populasi

$N$  = Jumlah data

$X_i$  = Data ke- $i$

$\mu$  = Rata-rata data

Selain seleksi data, upaya lain dalam manajemen data adalah melengkapi data yang hilang. Menurut IPCC (2007), metode penambahan data yang bisa digunakan adalah:

1. Metode *overlap*. Data seri waktu dapat dibuat berdasarkan hubungan (*overlap*) data-data pengamatan antara dua sumber terdekat pada waktu yang sama.
2. Metode *surrogate data*. Pendekatan data dilakukan berdasarkan perubahan sumber (parameter) yang mempengaruhinya. Data yang hilang didekati dengan membandingkan data yang diketahui hubungan sumber yang mempengaruhinya dihubungkan dengan sumber yang berubah.
3. Metode interpolasi data. Pendekatan data dilakukan berdasarkan data sebelum dan sesudah yang hilang berdasarkan tren data.
4. Metode ekstrapolasi data. Apabila data yang hilang berada di luar rentang data, maka pendekatan dilakukan dengan menggunakan kecenderungan yang ada.

## 2.9. Matlab

Matlab adalah sebuah program yang memanfaatkan bahasa dengan performa tinggi untuk komputasi teknis. Matlab mengintegrasikan perhitungan, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu tampilan antar muka (Mathworks, 2005). Matlab dapat memecahkan permasalahan dalam 0 dan 1 dimensi. Selain itu, persoalan 2 dan 3 dimensi dapat diselesaikan dengan pendekatan analitik (Holzbecher, 2012).

Sistem Matlab terdiri dari 5 bagian, antara lain (Mathworks, 2005):

1. *Development environment*, adalah seperangkat alat dan fasilitas untuk menggunakan *file* dan fungsi Matlab.
2. Perpustakaan fungsi matematika pada Matlab, yaitu kumpulan algoritma komputasi untuk berbagai jenis persamaan.
3. Bahasa Matlab, yaitu bahasa *matrix/array* tingkat tinggi dengan kontrol aliran *statement*, fungsi, struktur data, input/output, dan fitur pemrograman berorientasi pada objek.
4. Grafik, dimana Matlab memiliki berbagai fasilitas untuk menampilkan vektor dan matriks sebagai grafik.

- Termasuk juga fungsi untuk visualisasi data 2 dan 3 dimensi, pemrosesan gambar, animasi, dan sebagainya.
5. Tampilan antar muka eksternal, fungsi ini memungkinkan Matlab untuk berinteraksi dengan program lain, antara lain C dan Fortran.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

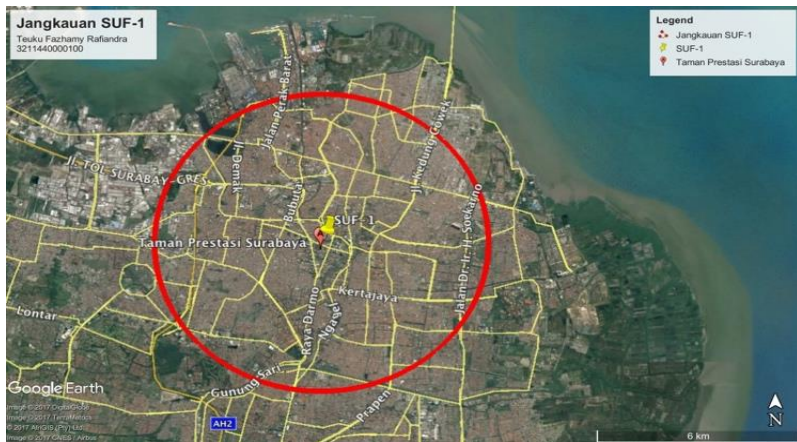
#### **3.1. Umum**

Penelitian yang dilakukan terkait dengan model persebaran pencemar non-konservatif dari aktivitas lalu lintas perkotaan di wilayah Surabaya Pusat. Tujuan yang ingin dicapai adalah prakiraan beban emisi dan pola persebaran pencemar non-konservatif. Metode perhitungan beban emisi yang digunakan dalam penelitian ini metode berdasarkan IPCC (2006). Sedangkan model persebaran yang digunakan adalah model berdasarkan penelitian Assomadi (2016). Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini mencakup analisis kondisi meteorologis, analisis beban emisi, analisis pola persebaran pencemar, verifikasi data, dan analisis perubahan kualitas udara ambien.

Target keluaran penelitian ini adalah verifikasi model persebaran emisi pencemar non-konservatif dari aktivitas lalu lintas dengan nilai korelasi yang baik, yaitu 0,572. Selain itu, target penelitian ini adalah aplikasi model untuk menilai perubahan kualitas udara ambien akibat aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat.

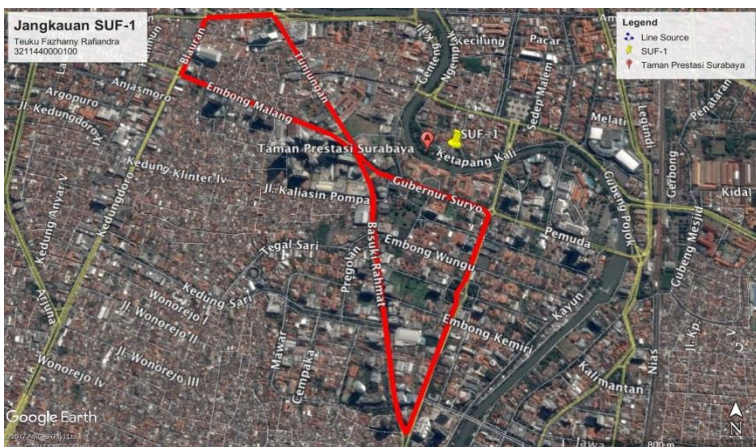
#### **3.2. Wilayah Studi**

Penelitian ini berfokus pada emisi dari aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat. Kualitas udara di wilayah Surabaya Pusat diukur dengan menggunakan stasiun pemantau kualitas udara SUF-1. SUF-1 berlokasi di Taman Prestasi, Jalan Ketabang Kali, Surabaya. Radius jangkauan pengukuran kualitas udara dari suatu stasiun pemantauan kualitas udara adalah 5 km (SARPEDAL KLH, 2003). Jangkauan dari SUF-1 terdapat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Jangkauan SUF-1  
(Sumber: Google Earth)

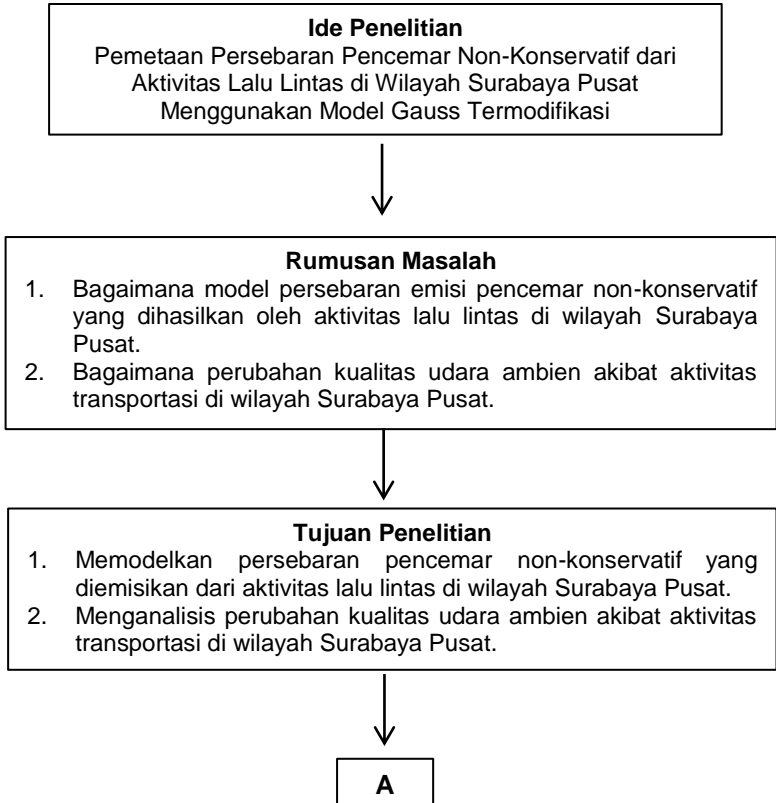
Berdasarkan jangkauan SUF-1, maka dipilih beberapa jalan raya yang tercakup jangkauan SUF-1 untuk pengambilan data aktivitas lalu lintas. Jalan raya yang dipilih berkategori jalan raya arteri sekunder. Jalan arteri sekunder diperuntukan sebagai pelayanan angkutan jarak jauh dengan kecepatan tinggi. Sehingga, arteri sekunder memiliki kepadatan lalu lintas yang lebih tinggi dibanding dengan jalan jenis lain. Jalan yang terpilih sebagai lokasi survey lalu lintas adalah Jalan Basuki Rahmat, Jalan Embong Malang, dan Jalan Panglima Sudirman (gambar 3.2).

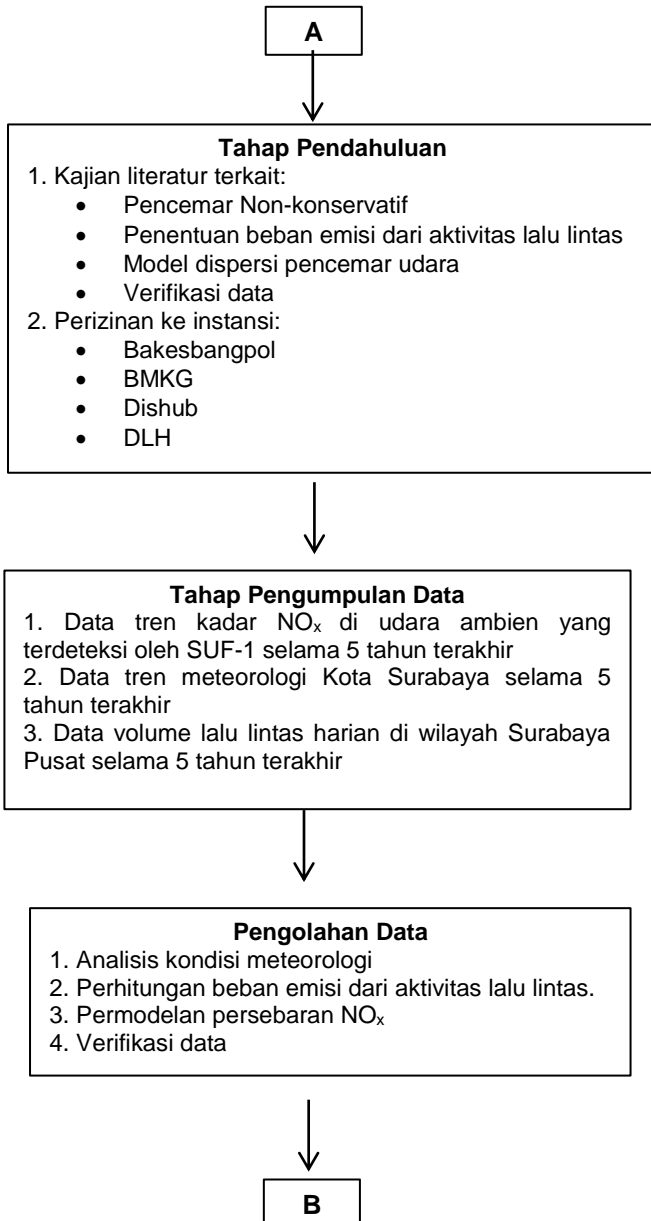


Gambar 3.2. Jalan Raya Lokasi Survey  
Sumber: Google Earth

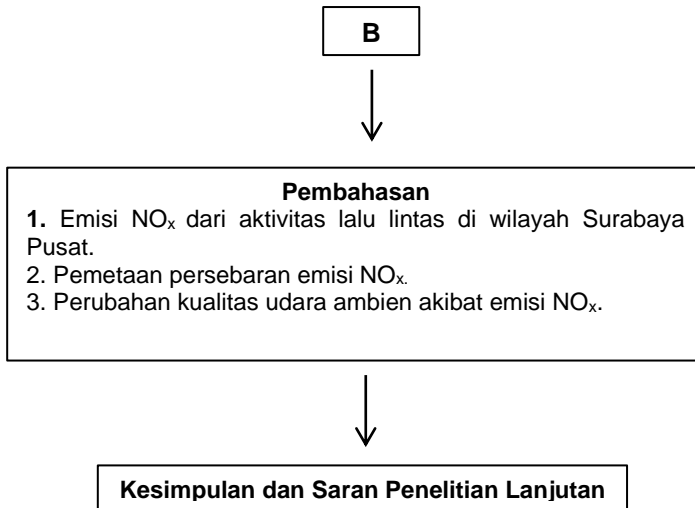
### 3.2. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian secara ringkas dapat dilihat pada gambar 3.3.









Gambar 3.3. Kerangka Penelitian

### 3.3. Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan pada penelitian ini terdiri atas:

1. Kajian literatur yang dilakukan antara lain terhadap:
  - Karakteristik dan persebaran pencemar non-konservatif
  - Penentuan beban emisi dari aktivitas lalu lintas
  - Model dispersi pencemar udara yang dapat memodelkan persebaran pencemar non-konservatif dari sumber garis (*line source*) dengan faktor kinetika reaksi.
  - Metode verifikasi model persebaran pencemar.
2. Melakukan perizinan untuk kepentingan pengumpulan data pada instansi pemerintah dan penyedia data, antara lain:
  - Badan Kesatuan Bangsa dan Politik (Bakesbangpol) Kota Surabaya, sebagai perizinan permulaan untuk pengambilan data pada instansi pemerintah.
  - Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), untuk kepentingan data meteorologis.

- Dinas Perhubungan (Dishub), untuk kepentingan data terkait jalan raya dan lalu lintas.
- Dinas Lingkungan Hidup (DLH), untuk kepentingan data tren kualitas udara di Kota Surabaya dan data meteorologis pada SUF-1.

### 3.4. Tahap Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk penelitian ini terdapat pada tabel

3.1.

Tabel 3.1. Data Penelitian yang Dibutuhkan

No.	Jenis Data	Metode Pengambilan Data	Durasi Data	Asal Data
1.	Konsentrasi NO <sub>x</sub> di wilayah Surabaya Pusat	Data Sekunder	5 Tahun (2012-2017)	Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya.
2.	Data meteorologis, mencakup kecepatan dan arah angin, suhu, tekanan udara, dan radiasi sinar matahari.	Data Sekunder	5 Tahun (2012-2017)	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (Stasiun Juanda); Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya
3.	Data volume kendaraan yang melalui wilayah Surabaya Pusat (pada jalan arteri sekunder), data panjang jalan, derajat kejenuhan.	Data Sekunder	5 Tahun (2012-2017)	Dinas Perhubungan Kota Surabaya; Data penelitian terdahulu.

### 3.5. Tahap Pengolahan Data dan Pembahasan

Analisis data dilakukan dalam rangka menentukan beban emisi, membuat model persebaran pencemar udara, dan verifikasi data. Selain itu juga analisis data terkait dengan perubahan kualitas udara ambien. Data pertama yang akan dianalisis adalah data meteorologis Kota Surabaya, terutama pada wilayah Surabaya Pusat. Analisis yang akan dilakukan mencakup tren arah dan kecepatan angin 2 musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Pembuatan *windrose* dilakukan dengan bantuan piranti lunak WRPLOT dengan metode terlampir.

Keluaran dari analisis ini berupa *windrose* yang menggambarkan arah dan kecepatan angin dominan. *Windrose* kemudian dijadikan acuan dalam pembuatan skenario persebaran emisi NO<sub>x</sub>. Data yang dijadikan acuan meliputi arah dan kecepatan angin tertinggi, rata-rata, dan minimal yang terjadi pada kedua musim.

Analisis data selanjutnya adalah terkait dengan beban emisi NO<sub>x</sub> dari aktivitas lalu lintas. Metode perhitungan beban emisi NO<sub>x</sub> didasarkan pada persamaan 2.14, dimana data yang dibutuhkan adalah jumlah kendaraan berdasarkan tipenya dan kecepatan rata-rata di jalan raya, serta panjang jalan.

$$E_a = A \times EF \times L \quad (2.14)$$

Dimana:

- E<sub>a</sub> = Beban pencemar polutan a
- A = Laju aktivitas kendaraan
- EF = Faktor emisi (gr/km)
- L = Panjang jalan (km)

Kecepatan kendaraan yang digunakan berdasarkan pendekatan dengan faktor derajat kejenuhan. Kendaraan yang disurvei untuk perhitungan beban emisi antara lain:

1. Motor
2. Mobil Pribadi
3. Angkot
4. Taxi
5. Bus Mini
6. Pick Up/box
7. Mini Truk
8. Bus Besar

9. Truk 2 sb
10. Truk 3 sb
11. Truk Gandeng
12. Trailer

Keluaran dari analisis ini adalah beban emisi yang dihasilkan dari aktivitas jalan raya. Keluaran ini dijadikan dasar analisis persebaran pencemar udara non-konservatif.

Selanjutnya adalah memodelkan persebaran pencemar non-konservatif. Dasar model yang digunakan adalah pendekatan model distribusi pencemaran di perkotaan. Persamaan yang digunakan untuk membuat model persebaran adalah persamaan 2.32.

$$C_L(x, y, z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} D_z x} \left( \exp\left(\frac{-(z-H)^2 v}{4 D_z x}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2 v}{4 D_z x}\right) \right) \left( \exp\left(\frac{-\lambda x}{v}\right) \right) \left[ \operatorname{erf}\left(\frac{\sin\theta\left(\frac{L}{2}-y\right)-x \cos\theta}{\sqrt{2} D_y x}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{\left(\sin\theta\left(\frac{L}{2}-y\right)+x \cos\theta\right)}{\sqrt{2} D_y x}\right) \right] \quad (2.32)$$

Dengan:

- |                |   |
|----------------|---|
| $C_L(x, y, z)$ | = Konsentrasi pada titik (x,y,z) (gr/m <sup>3</sup> ) |
| $Q$            | = Beban emisi (gr/det)                                |
| $x$            | = Jarak searah angin (m)                              |
| $y$            | = Jarak tegak lurus arah angin (m)                    |
| $z$            | = Ketinggian reseptor (m)                             |
| $H$            | = Tinggi efektif sumber dari permukaan (m)            |
| $v$            | = Kecepatan angin (m/det)                             |
| $\lambda$      | = Konstanta laju reaksi ((μg/m <sup>2</sup> )/watt)   |
| $D_z, D_y$     | = Konstanta difusi (1,75 torr.cm <sup>2</sup> /det)   |
| $\theta$       | = Sudut angin   |
| $L$            | = Panjang jalan                                       |

Data yang perlu dimasukkan antara lain:

- Data beban emisi pencemar non-konservatif (Q). Permodelan akan didasarkan pada tren perubahan konsentrasi NO<sub>x</sub>.
- Data arah angin terhadap jalan raya (θ) dan data kecepatan angin (v). Data ini didapatkan dari *windrose*

angin Surabaya Pusat maupun skenario kecepatan angin yang digunakan.

- Data tinggi efektif sumber pencemar (H). Sumber emisi pencemar yang diteliti adalah knalpot dari kendaraan bermotor, sehingga tinggi efektif yang digunakan adalah tinggi efektif sumber pencemar.
- Lokasi reseptor terhadap jalan raya pengemisi pencemar dalam bentuk koordinat kartesius (x,y).
- Tinggi reseptor (Z), dengan tinggi reseptor yang digunakan adalah tinggi stasiun pemantau kualitas udara.
- Konstanta kinetika reaksi ( $\lambda$ ). Kinetika reaksi yang digunakan berdasarkan dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau.

Permodelan persebaran emisi dilakukan dengan bantuan piranti lunak Microsoft Excel sebagai *database* data yang diperlukan dan Matlab sebagai bantuan untuk melakukan permodelan secara matematis. Perhitungan pada piranti Matlab dengan menggunakan berbagai *script* (terlampir). Secara umum, langkah perhitungan model persebaran adalah:

1. Membagi *grid* persebaran emisi.

Pembagian *grid* bertujuan untuk menetapkan lokasi-lokasi reseptor persebaran emisi dari aktivitas jalan raya. Pembagian *grid* dilakukan pada wilayah Surabaya Pusat dengan pusat emisi ada di jalan arteri sekunder yang telah ditetapkan. *Grid* dibagi menjadi 300 titik dikarenakan pada jumlah *grid* ini, dihasilkan penggambaran persebaran yang cukup baik.

2. Menghitung transformasi koordinat.

Setelah dilakukan penetapan *grid*, selanjutnya adalah menghitung transformasi koordinat. Sebelumnya, seluruh koordinat dikonversi dalam bentuk koordinat kartesius. Kemudian, koordinat reseptor ditransformasi terhadap koordinat jalan raya yang dimodelkan dengan persamaan 2.22 dan 2.23. Selain itu, sudut angin juga dikoreksi terhadap sudut jalan raya dengan persamaan 2.18-2.21.

$$\text{Gradien jalan } m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2.17)$$

Sudut arah jalan dari sudut angin  $N(A)$

$$A = \arctan(m) \quad (2.18)$$

Konstanta pada garis jalan ( $k$ ) =  $y_1 - mx_1$  (2.19)

Selisih sudut jalan dengan arah angin ( $B$ )

$$B = \alpha - 90 + A \quad (2.20)$$

Jarak penerima dengan jalan searah angin ( $d$ )

$$d = \frac{(mx_1 + k - y) / \sqrt{(1 + m^2)}}{\sin B} \quad (2.21)$$

Titik potong garis angin melewati pengamat dengan jalan

$$J1 (x_1, y_1) = (x_e, y_e)$$

$$x_e = \frac{m_a x - m x_1 - y + y_1}{m_a - m} \quad (2.22)$$

$$y_e = m_1(x_e - x_1) + y_1 \quad (2.23)$$

3. Menghitung persebaran emisi.

Dengan menggunakan data-data yang diperlukan, maka persebaran emisi dapat dimodelkan untuk setiap titik reseptor. Perhitungan persebaran emisi dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.32 untuk setiap skenario yang ditetapkan. Masukan parameter sesuai dengan kebutuhan permodelan.

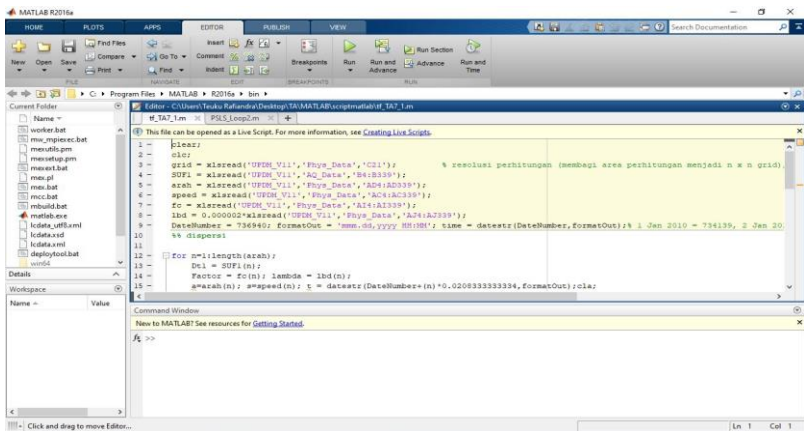
4. Verifikasi Model terhadap Reseptor

Verifikasi model dilakukan secara teoritis dan menggunakan parameter statistik, yaitu korelasi dan RMSE. Verifikasi dilakukan secara *time-series* terhadap data di SUF-1. Verifikasi dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.33 dan 2.34.

$$Corr = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(obs_i - \bar{obs})}{\sqrt{(y_i - \bar{y})^2} \sqrt{(obs_i - \bar{obs})^2}} \quad (2.33)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - obs_i)^2} \quad (2.34)$$

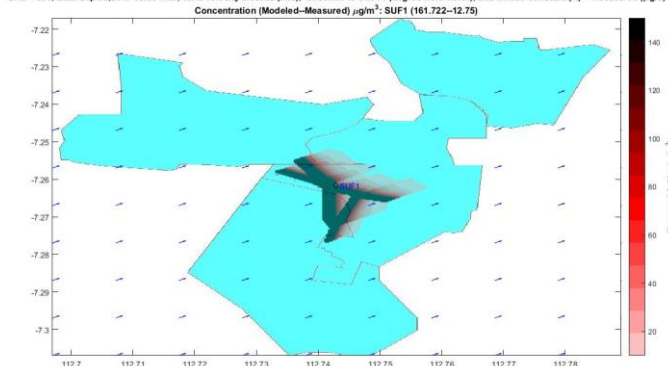
Verifikasi dilakukan dengan menggunakan data 1 tahun terakhir dari SUF-1. Data yang dipilih adalah data yang lengkap dan konsisten berdasarkan manajemen data yang dilakukan.



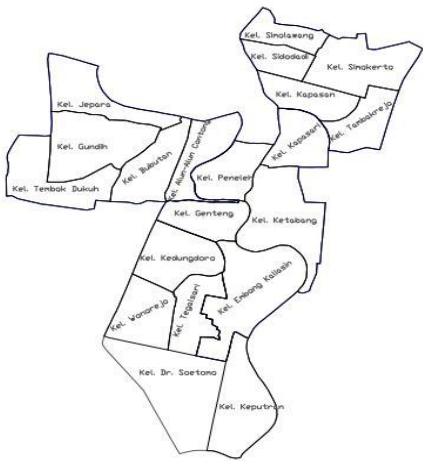
Gambar 3.4. Contoh Tampilan Antarmuka Matlab

Analisis yang sudah dilakukan kemudian dibahas secara lebih detail. Pembahasan terkait model persebaran mencakup penjelasan pengaplikasian model untuk memetakan persebaran emisi  $\text{NO}_x$  dari aktivitas lalu lintas. Keluaran dari analisis ini adalah model persebaran  $\text{NO}_x$  yang sudah terverifikasi dengan peta kontur awal. Pada tahap ini, acuan peta persebaran yang digunakan adalah peta wilayah Surabaya Pusat (gambar 3.6). Tahap kedua adalah membuat model persebaran sesuai *grid* tertentu sehingga membentuk kontur konsentrasi persebaran  $\text{NO}_x$ . Keluaran dari analisis ini adalah gambaran pola persebaran emisi  $\text{NO}_x$ . Sehingga, dampak perubahan kualitas udara ambien pada kondisi tertentu akibat aktivitas lalu lintas bisa dianalisis.

Grid = 300; Date Sep.09,2017 00:00 WIB; wind velocity 0.85328 (m/s), direction to 61.914 (degree from north), and kinetic constant ( $\lambda$ ) = 1.9655e-06 ( $\mu\text{g/s}$ )



Gambar 3. 6. Contoh Keluaran Peta Persebaran dari Matlab



Gambar 3.5. Peta Wilayah Surabaya Pusat (Tanpa skala)  
Sumber: Pemerintah Kota Surabaya

Permodelan yang dilakukan pada tahap kedua dilakukan berdasarkan skenario kecepatan angin dan musim (tabel 3.2). Skenario kecepatan angin yang ingin diteliti adalah kecepatan angin rendah, sedang, dan tinggi. Klasifikasi didasarkan pada kecepatan angin sesuai dengan skala Beaufort (tabel 3.3). Klasifikasi kecepatan angin rendah sesuai dengan skala Beaufort 3. Sedangkan, kecepatan angin rendah dan tinggi masing-masing pada skala Beaufort 4 dan 5. Skenario musim yang digunakan adalah musim kemarau dan musim penghujan sesuai dengan kinetika reaksi yang digunakan.

Tabel 3.2. Skenario Model Dispersi

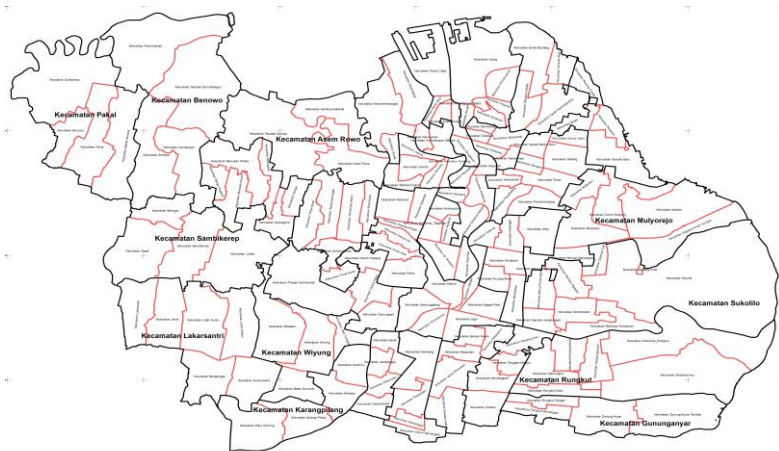
Musim	Kecepatan Angin		
	Rendah (1)	Sedang (2)	Tinggi (3)
Kemarau (K)	K1	K2	K3
Penghujan (H)	H1	H2	H3



Tabel 3.3. Skala Beaufort

Nomor Beaufort	Kekuatan Angin	Kecepatan rata-rata (m/det)
3	Sedikit Hembusan Angin	1,5-3,3
4	Hembusan Angin Pelan	3,3-5,5
5	Hembusan angin Sedang	5,5-8

Pada analisis ini, gambaran pola persebaran yang diharapkan berupa sebuah peta persebaran masing-masing pencemar sesuai dengan skenario yang dibuat. Pada tahap ini, peta persebaran yang digunakan adalah peta wilayah Surabaya untuk melihat efek persebaran pencemar  $\text{NO}_x$  terhadap seluruh wilayah Surabaya. Peta persebaran dibuat ke arah 8 mata angin sesuai dengan *windrose* yang telah dibuat. Kemudian peta persebaran tersebut di-*overlay* dengan metode *union* sehingga menghasilkan akumulasi konsentrasi polutan pada suatu titik reseptor. Hasil persebaran polutan kemudian dibuat dalam bentuk peta kontur konsentrasi polutan.



Gambar 3.7. Peta Wilayah Surabaya (Tanpa skala)  
Sumber: Pemerintah Kota Surabaya

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## BAB 4

### PEMBAHASAN

#### 4.1. Gambaran Umum Kondisi Lalu Lintas

##### 4.1.1. Karakteristik Jalan

Karakteristik jalan merupakan salah satu input data penting dalam penentuan beban emisi. Hal ini dikarenakan besar emisi polutan berkorelasi dengan jarak yang ditempuh suatu kendaraan, yang diwakili oleh panjang jalan. Jalan yang digunakan untuk perhitungan beban emisi adalah jalan arteri sekunder di wilayah Surabaya Pusat yang disurvei oleh Dinas Perhubungan Kota Surabaya. Sebagai data awal, perlu diketahui koordinat masing-masing jalan. Koordinat masing-masing jalan diketahui menggunakan piranti lunak “Google Earth.” Tabel 4.1. berikut menunjukkan posisi jalan yang disurvei.

Tabel 4.1. Posisi Jalan Raya yang Disurvei

No.	Nama Jalan	Koordinat Jalan (Kartesius)			
		Awal		Akhir	
		x	y	x	y
1	Urip Sumoharjo	112,741	-7,277	112,742	-7,273
2	Basuki Rahmat	112,742	-7,273	112,741	-7,271
		112,741	-7,271	112,7409	-7,265
		112,7409	-7,265	112,741	-7,263
		112,741	-7,263	112,7405	-7,262
		112,7405	-7,262	112,739	-7,261
3	Embong Malang	112,739	-7,261	112,733	-7,258
		112,733	-7,258	112,733	-7,2582
4	Tunjungan	112,736	-7,255	112,7406	-7,262
5	Gubernur Suryo	112,7406	-7,262	112,741	-7,262
		112,741	-7,262	112,741	-7,263
		112,741	-7,263	112,745	-7,264
		112,745	-7,264	112,7455	-7,2646

6	Pemuda	112,7509	-7,266	112,7455	-7,2646
7	Panglima Sudirman	112,7455	-7,2646	112,742	-7,273

Sebagai pelengkap data jalan yang disurvei, maka dilakukan pendataan terhadap jalan arteri sekunder lain yang tidak disurvei. Jalan yang dipilih mencakup jalan arteri sekunder lain yang ada di wilayah Surabaya Pusat dan berlokasi di sekitar jalan yang disurvei. Tabel 4.2. berikut adalah data jalan raya penunjang yang terpilih. Sedangkan koordinat masing-masing jalan terlampir pada lampiran 1.

Tabel 4.2. Daftar Jalan Penunjang

No.	Nama Jalan	No.	Nama Jalan
1	Urip Sumoharjo	11	Tembaan
2	Basuki Rahmat	12	Dupak
3	Embong Malang	13	Gemblongan
4	Tunjungan	14	Bubutan
5	Gubernur Suryo	15	Kapasan
6	Pemuda	16	Pahlawan
7	Panglima Sudirman	17	Kramat Gantung
8	Kalianyar	18	Blauran
9	Ngaglik	19	Pandegiling
10	Kapasari		

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan koordinat kartesius pada masing-masing jalan, maka panjang seluruh jalan dapat dihitung. Berikut adalah contoh perhitungan untuk Jalan Urip Sumoharjo. Hasil perhitungan panjang jalan untuk seluruh jalan terdapat pada tabel 4.3.

Diketahui:

*Latitude* Awal (X awal) = 112,741

*Longitude* Awal (Y awal) = -7,277

*Latitude* Akhir (X akhir) = 112,742

*Longitude* Akhir (X akhir) = -7,273

Selisih *latitude* (Lat) =  $|x \text{ awal} - x \text{ akhir}| \times 60$   
=  $|112,741 - 112,742| \times 60 = 0,06$

Selisih *longitude* (Long) =  $|y \text{ awal} - y \text{ akhir}| \times 60$   
=  $|-7,277 - (-7,273)| \times 60 = 0,24$

Jarak =  $\sqrt{\text{lat}^2 + \text{long}^2} \times 1852$

$$= \sqrt{0,06^2 + 0,24^2 \times 1852}$$

$$= 0,46 \text{ km}$$

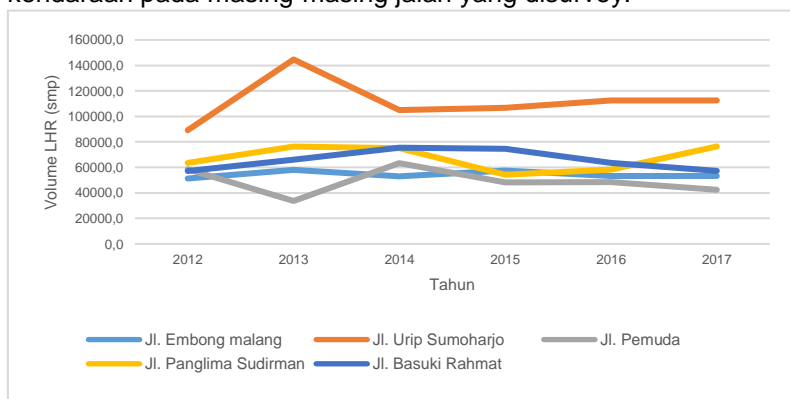
Tabel 4.3. Panjang Masing-masing Jalan

No	Nama Jalan	Panjang Jalan (km)	No	Nama Jalan	Panjang Jalan (km)
1	Urip Sumoharjo	0,46	11	Tembaan	0,58
2	Basuki Rahmat	1,46	12	Dupak	1,27
3	Embong Malang	0,77	13	Gemblongan	0,36
4	Tunjungan	0,93	14	Bubutan	1,41
5	Gubernur Suryo	0,7	15	Kapasan	0,97
6	Pemuda	0,62	16	Pahlawan	0,88
7	Panglima Sudirman	1,01	17	Kramat Gantung	0,64
8	Kalianyar	0,37	18	Blauran	0,3
9	Ngaglik	0,54	19	Pandegiling	1,83
10	Kapasari	0,86			

Sumber: Hasil perhitungan.

#### 4.1.2. Volume Lalu Lintas

Berdasarkan data dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya (2017), volume kendaraan di Surabaya, khususnya wilayah Surabaya Pusat, cenderung mengalami peningkatan. Rata-rata perubahan volume kendaraan sejak tahun 2007-2017 adalah 1,80 %. Gambar 4.1. berikut menggambarkan tren jumlah kendaraan pada masing-masing jalan yang disurvei.

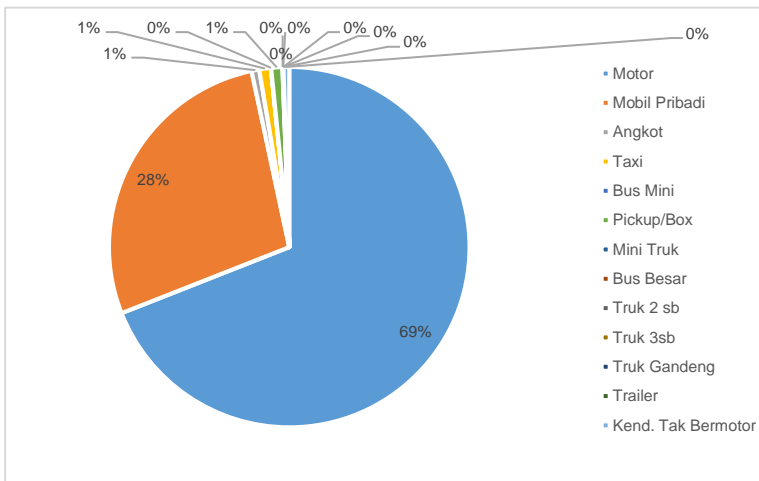


Gambar 4.1. Pola Volume Lalu Lintas Harian Surabaya 2012-2017  
Sumber: Hasil perhitungan

Gambar 4.1. menggambarkan bahwa tren jumlah kendaraan bermotor yang melintasi jalan-jalan yang disurvei cenderung fluktuatif. Hal ini bisa disebabkan adanya kondisi khusus yang mungkin terjadi pada saat kegiatan *traffic counting*. Namun, grafik atas dapat merepresentasikan kondisi lalu lintas harian rata-rata di Surabaya.

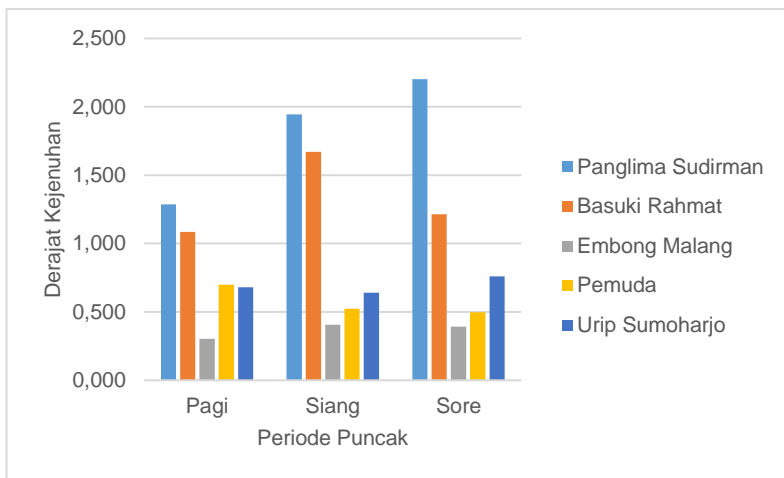
Volume lalu lintas terbesar adalah pada Jalan Urip Sumoharjo. Hal ini dikarenakan jalan tersebut dilalui oleh kendaraan yang akan menuju ke Surabaya Pusat, maupun yang akan menuju ke arah selatan. Sedangkan untuk jalan lainnya, pola yang dihasilkan cenderung mirip dikarenakan jalan-jalan tersebut merupakan jalan satu arah yang menjadi sebuah rangkaian jalan.

Proporsi kendaraan yang melintasi wilayah survey Surabaya Pusat terlihat pada gambar 4.2. Terlihat bahwa proporsi terbesar kendaraan yang melintas adalah sepeda motor, yaitu mencapai 69%. Hal ini konsisten dengan populasi kendaraan bermotor terbesar, yaitu motor (BPS Surabaya, 2017).



Gambar 4.2. Proporsi Kendaraan di Surabaya Pusat  
Sumber: Hasil perhitungan

Volume lalu lintas harian yang melintasi suatu jalan raya berkorelasi erat dengan nilai derajat kejenuhan jalan tersebut. Derajat kejenuhan menggambarkan perbandingan antara jumlah kendaraan yang melintas dengan kapasitas jalan. Semakin tinggi nilai derajat kejenuhan, maka semakin tinggi kepadatan di jalan raya tersebut. Gambar 4.3. berikut menggambarkan derajat kejenuhan di masing-masing jalan yang disurvei oleh dinas perhubungan Kota Surabaya pada tahun 2017.



Gambar 4.3. Tren Derajat Kejenuhan di Jalan Tersurvei 2017

Sumber: Dinas Perhubungan Kota Surabaya, 2017

Berdasarkan grafik di atas, derajat kejenuhan tertinggi adalah pada Jalan Panglima Sudirman dan Jalan Basuki Rahmat. Nilai derajat kejenuhan tertinggi pada kedua jalan tersebut berturut-turut adalah 2,202 dan 1,670. Nilai derajat kejenuhan tertinggi di Jalan Panglima Sudirman terjadi pada puncak sore dikarenakan dominan pengguna jalan mengarah keluar pusat kota. Nilai derajat kejenuhan melebihi 0,8 menyebabkan meningkatnya emisi gas buang dari jalan tersebut, sehingga diperlukan rekayasa lalu lintas yang sesuai untuk menurunkan kepadatan lalu lintas (Kementerian Pekerjaan Umum, 2014).

Derajat kejenuhan berhubungan dengan kecepatan laju kendaraan pada suatu ruas jalan. Semakin tinggi derajat kejenuhan suatu jalan, maka semakin lambat kecepatan laju

kendaraan. Hal ini disebabkan tidak cukupnya kapasitas jalan untuk menampung volume kendaraan. Hal ini mengakibatkan kecepatan kendaraan akan melambat, bahkan hingga menimbulkan kemacetan. Tabel 4.4. menunjukkan kecepatan jalan yang disurvei oleh Dinas Perhubungan Kota Surabaya (2017).

Tabel 4.4. Kecepatan Kendaraan

Ruas Jalan	Kecepatan Kendaraan Rata-rata (km/jam)		
	LV	HV	MC
Panglima Sudirman*	26	26	26
Basuki Rahmat*	26	26	26
Embong Malang**	60,66	52,05	47,74
Pemuda**	45,86	39,10	36,09
Urip Sumoharjo**	50,14	42,74	39,29

Keterangan:

\*) Hasil perhitungan

\*\*) Dinas Perhubungan Kota Surabaya, 2017

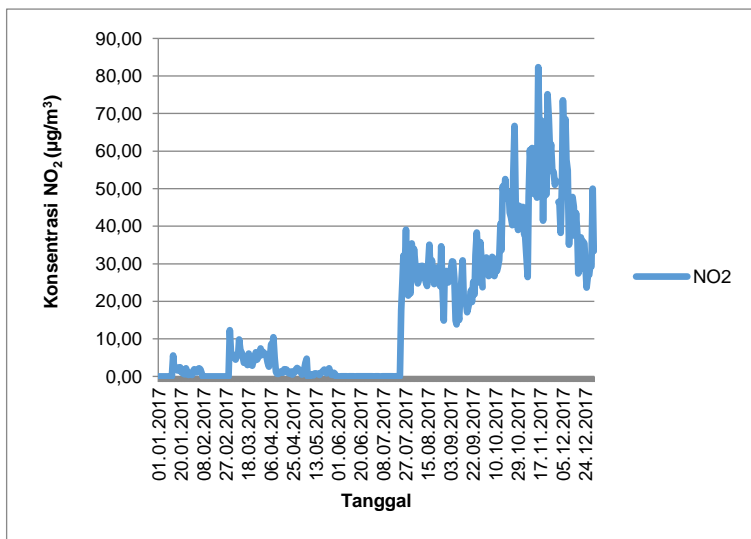
Kecepatan kendaraan yang tersaji pada tabel 4.4 merupakan rata-rata kecepatan kendaraan pada saat derajat kejenuhan tertinggi, yaitu pada jam puncak pagi, siang, dan sore. Kecepatan kendaraan pada jalan Embong Malang, Pemuda, dan Urip Sumoharjo merupakan hasil perhitungan oleh Dinas Perhubungan.

Sedangkan pada Jalan Panglima Sudirman dan Jalan Basuki Rahmat, kecepatan kendaraan yang diambil adalah kecepatan kendaraan terendah. Kecepatan kendaraan terendah terjadi pada saat derajat kejenuhan lebih dari 1 (Kementerian PU, 2014). Dengan kecepatan arus bebas pada jalan tersebut sebesar 48 km/jam (Wibisono dan Utomo, 2016), maka kecepatan kendaraan yang digunakan adalah 26 km/jam.



## 4.2. Gambaran Kualitas Udara

Pengukuran kualitas udara di wilayah Surabaya Pusat dilakukan dengan menggunakan stasiun pemantau kualitas udara SUF-1. Data parameter kualitas udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah data NO<sub>2</sub>. Berikut adalah gambaran tren konsentrasi NO<sub>2</sub> harian yang tercatat pada SUF-selama tahun 2017.



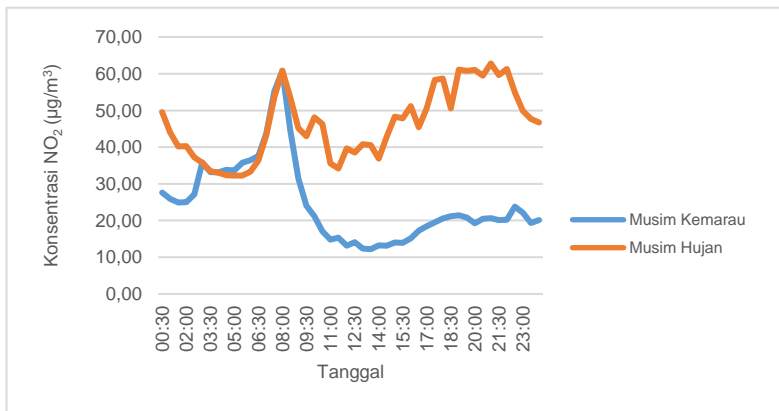
Gambar 4.4. Pola Konsentrasi NO<sub>2</sub> di SUF-1 Tahun 2017  
Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2017

Pola konsentrasi NO<sub>2</sub> yang tercatat di SUF-1 mengalami fluktuasi yang cukup signifikan. Pada awal tahun, data yang tercatat relatif kecil.

Pencatatan data pada SUF-1 sempat berhenti beberapa hari pada bulan Januari, Juni, dan Juli. Namun, mulai akhir bulan Juli, data NO<sub>2</sub> yang tercatat mengalami lonjakan. Hal ini kemungkinan disebabkan sensor pada SUF-1 baru terkalibrasi sehingga sensitivitas alat meningkat.

Fluktuasi tren konsentrasi NO<sub>2</sub> terlihat berbeda berdasarkan musimnya. Pada musim kemarau, terutama pada bulan Juli-

Oktober, konsentrasi  $\text{NO}_2$  cenderung lebih rendah daripada pada saat musim hujan. Hal ini dapat disebabkan oleh tingginya destruksi  $\text{NO}_2$  menjadi  $\text{O}_3$  pada saat musim kemarau. Tingginya destruksi  $\text{NO}_2$  menjadi  $\text{O}_3$  dipengaruhi oleh tingginya penyinaran matahari pada musim kemarau (Dogruparmak dan Ozbay, 2011). Sehingga, rata-rata konsentrasi  $\text{NO}_2$  di ambien cenderung rendah pada musim kemarau. Sedangkan pola konsentrasi  $\text{NO}_2$  rata-rata per 30 menit terdapat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Tren  $\text{NO}_2$  Harian Pada Tanggal Terpilih  
Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan gambar 4.5, tren  $\text{NO}_2$  yang tercatat di SUF-1 cenderung memiliki pola yang sama. Pola yang terbentuk yaitu konsentrasi tertinggi pada puncak pagi dan sore, sedangkan konsentrasi terendah pada siang hari. Pola konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang tinggi pada pagi dan sore hari konsisten dengan kepadatan lalu lintas yang terjadi. Sedangkan, konsentrasi  $\text{NO}_2$  yang rendah pada siang hari disebabkan terjadinya reaksi fotokimia, dimana  $\text{NO}_2$  terdestruksi menjadi  $\text{O}_3$  akibat adanya energi foton dari penyinaran matahari.

Konsentrasi  $\text{NO}_2$  pada kedua musim memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini terlihat dari konsentrasi  $\text{NO}_2$  pada musim hujan yang cenderung lebih tinggi dibandingkan musim kemarau. Hal ini sudah dijelaskan pada grafik sebelumnya, dimana hal ini disebabkan oleh reaksi fotokimia yang dipengaruhi oleh penyinaran matahari. Pada musim hujan,  $\text{NO}_2$  dapat terlarut

dalam air hujan.  $\text{NO}_2$  terkandung dalam air hujan dengan kadar 27,1% (Sudalma *et al.*, 2015). Walaupun demikian, tingkat intensitas radiasi matahari tetap menjadi faktor utama dalam tingkat konsentrasi  $\text{NO}_2$  di atmosfer.

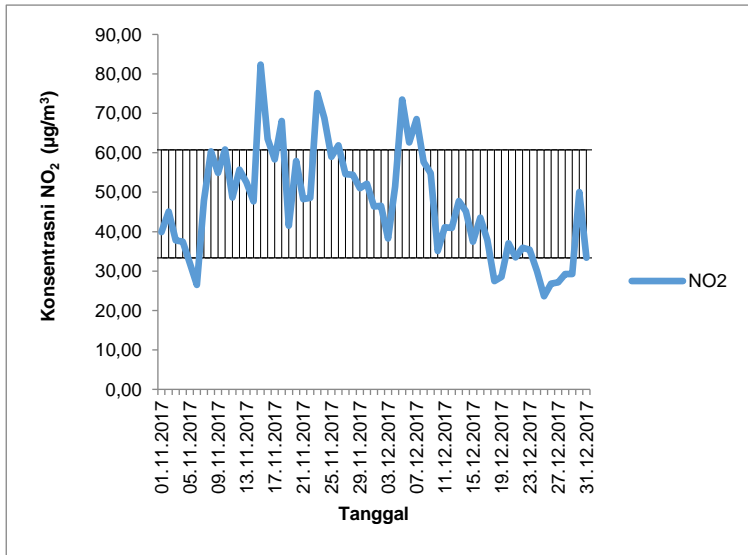
#### 4.2.1. Pemilihan Data Verifikasi Model

Untuk keperluan verifikasi model, diperlukan pemilihan data kualitas udara. Data kualitas udara akan diklasifikasikan berdasarkan musim kemarau dan penghujan. Pemilihan data dilakukan berdasarkan kriteria berikut:

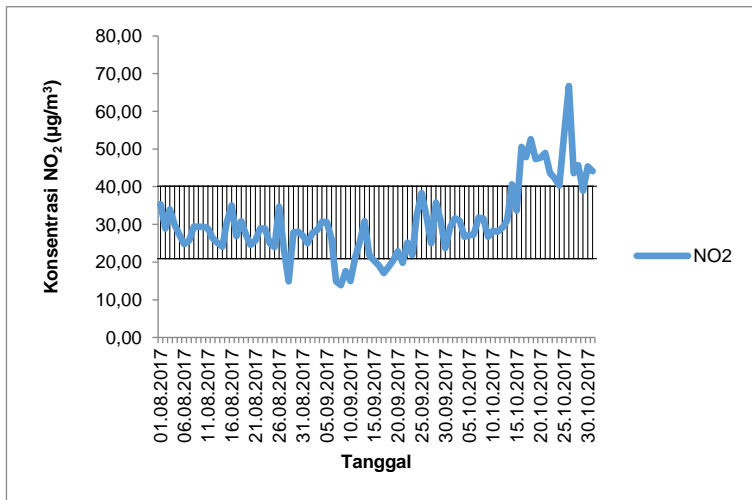
1. Kesesuaian dengan kondisi umum berdasarkan literatur atau data yang sudah terpublikasi.
2. Data masuk dalam rentang standar deviasi (data tidak *outlier*).
3. Kelengkapan data pada semua parameter kualitas udara maupun meteorologis.
4. Data yang dipilih adalah data selama 7 hari.

Kondisi umum konsentrasi  $\text{NO}_2$  di Kota Surabaya, menurut Kusminingrum dan Gunawan (2008) adalah antara 29,72-228,48  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Sedangkan, konsentrasi  $\text{O}_3$  secara umum antara 3,72-150,46  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Berdasarkan kondisi umum kualitas udara di Kota Surabaya, maka data yang akan digunakan untuk verifikasi model adalah data yang tercatat mulai Agustus 2017 untuk parameter  $\text{NO}_2$ . Sehingga, data musim kemarau yang digunakan adalah data bulan Agustus-Oktobre 2017 dan data musim penghujan adalah bulan November-Desember 2017.

Selanjutnya adalah pemilihan data dengan menggunakan standar deviasi. Parameter yang akan dijadikan acuan adalah  $\text{NO}_2$  sebagai parameter utama. Data-data diluar standar deviasi yang sudah ditetapkan dinyatakan *outlier*. Data *outlier* tidak akan digunakan dalam verifikasi model. Gambar 4.6 dan 4.7 berikut menunjukkan grafik data  $\text{NO}_2$  berdasarkan musim dan standar deviasi datanya.



Gambar 4.7. Konsentrasi  $\text{NO}_2$  pada Musim Penghujan  
Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.6. Konsentrasi  $\text{NO}_2$  pada Musim Kemarau  
Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan grafik di atas, maka data yang dipilih adalah data dari SUF-1 pada tanggal-tanggal berikut:

1. Musim kemarau
  - 1-27 Agustus
  - 29 Agustus-8 September
  - 11-14 September
  - 22 September-16 Oktober
2. Musim hujan
  - 1-5 November
  - 7-15 November
  - 19-23 November
  - 26-5 Desember
  - 8-18 Desember
  - 20-23 Desember
  - 30-31 Desember

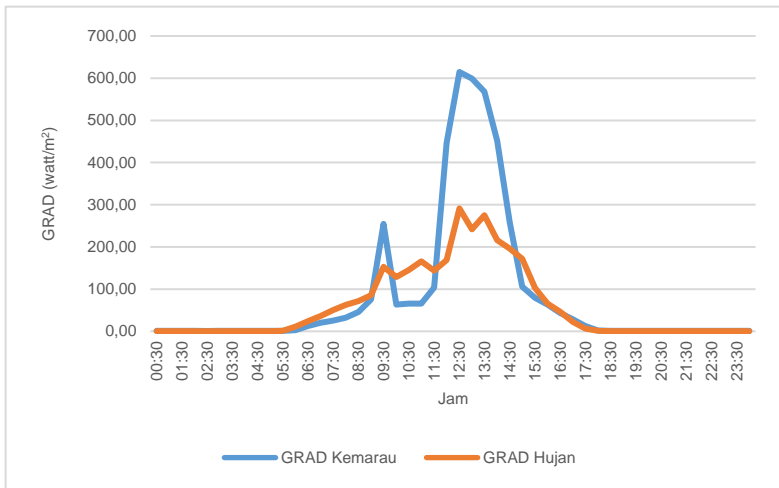
Setelah dilakukan rekapitulasi data pada tanggal-tanggal tersebut, maka dipilih hari dengan data terlengkap. Untuk musim kemarau, tanggal yang dipilih adalah tanggal 2-8 September, sedangkan untuk musim hujan adalah tanggal 8-18 Desember.

## **4.2. Kondisi Meteorologi**

### **4.2.1. Kondisi Meteorologi Lokal**

Kondisi meteorologi lokal adalah kondisi meteorologis yang tercatat pada stasiun pemantau kualitas udara SUF-1. Kondisi ini dianggap mewakili kondisi meteorologi setempat di wilayah Surabaya Pusat. Kondisi meteorologi lokal digunakan sebagai dasar verifikasi model. Parameter meteorologis yang ditinjau meliputi GRAD, kecepatan dan arah angin.

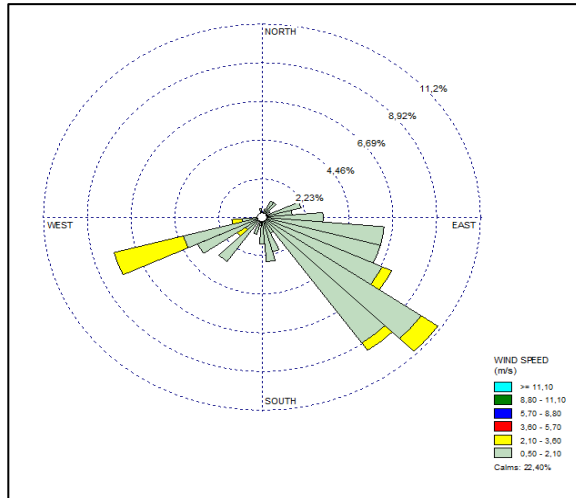
GRAD (*Global Radiation*) menggambarkan intensitas penyinaran matahari yang tertangkap di SUF-1. GRAD berperan penting dalam kinetika reaksi  $\text{NO}_x$ , karena reaksi fotokimia dipengaruhi oleh pancaran energi foton dari matahari (Vallero, 2008). Gambar 4.9 berikut menunjukkan GRAD rata-rata yang diterima SUF-1 pada musim kemarau maupun musim hujan.



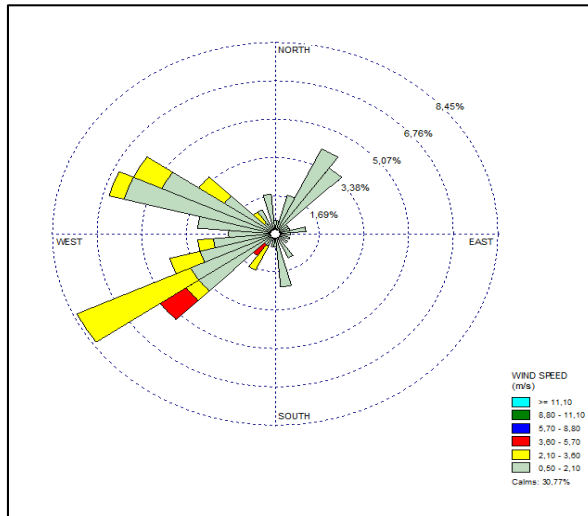
Gambar 4.8. Pola GRAD Harian pada SUF-1  
Sumber: Hasil perhitungan

Secara umum, pola GRAD mengikuti pola penyinaran matahari. Sehingga, terlihat bahwa nilai GRAD tertinggi tercatat pada pukul 12.30-13.30, sesuai dengan pola penyinaran matahari pada siang hari. Sedangkan berdasarkan musim, terlihat perbedaan tingkat GRAD yang signifikan. Secara umum, fluktuasi nilai GRAD pada musim kemarau lebih tinggi daripada GRAD pada musim hujan. Hal ini dapat disebabkan tutupan awan yang rendah pada musim kemarau sehingga permukaan bumi menerima sinar matahari dengan intensitas yang lebih tinggi.

Selain GRAD, parameter meteorologis lain yang mempengaruhi model adalah kecepatan dan arah angin. Kecepatan dan arah angin mempengaruhi arah dispersi dan luas sebaran konsentrasi pencemar udara (Vallero, 2008). Berikut adalah *windrose* kondisi meteorologi yang tercatat di SUF-1 pada data harian terpilih.



Gambar 4. 9. *Windrose* Lokal Musim Kemarau  
Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.10. *Windrose* Lokal Musim Hujan  
Sumber: Hasil perhitungan

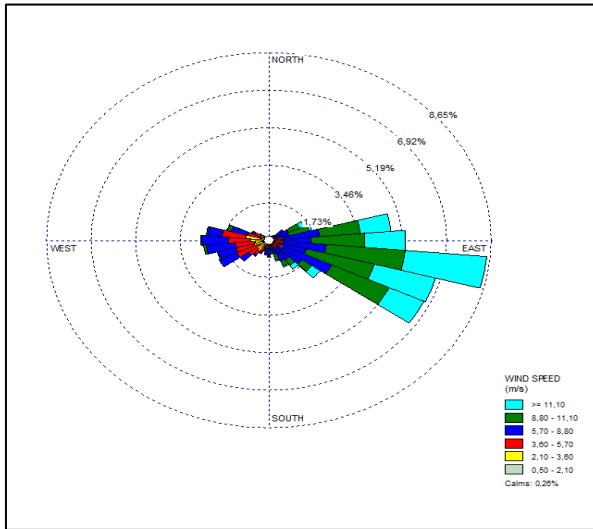
Berdasarkan gambar *windrose* di atas, terdapat perbedaan arah dan kecepatan angin pada kedua musim. Pada musim kemarau, angin cenderung mengarah ke barat laut. Sedangkan pada musim hujan, arah angin cenderung mengarah ke timur laut. Hal ini cukup konsisten dengan arah angin dominan sesuai musim, yaitu muson barat dan muson timur.

Kecepatan angin dominan ketika musim kemarau berkisar antara 0,5-2,1 m/det, sedangkan pada musim hujan adalah 2,10-3,6 m/det. Apabila dibandingkan dengan kondisi meteorologi umum Kota Surabaya, secara umum kecepatan angin dominan pada SUF-1 lebih kecil. Kecepatan dan arah angin yang tercatat di SUF-1 dapat dipengaruhi oleh banyaknya gedung tinggi di sekitar SUF-1, sehingga sedikit berbeda daripada kondisi meteorologi umum Surabaya.

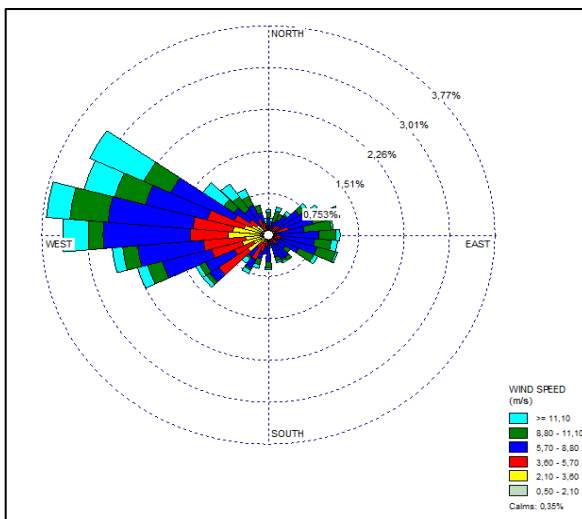
#### **4.2.2. Kondisi Meteorologi Kota Surabaya**

Kondisi meteorologi Kota Surabaya menggambarkan kondisi meteorologi secara umum yang terjadi di Kota Surabaya. Parameter meteorologis yang dibahas adalah kecepatan dan arah angin dominan. Parameter ini digunakan sebagai dasar skenario persebaran pencemar udara. Data untuk perhitungan ini diperoleh dari NCDC. Data yang digunakan adalah data tahun 2017-2018. Data angin diklasifikasikan berdasarkan musim kemarau dan musim hujan. Klasifikasi musim kemarau adalah bulan Mei-Oktober 2017, sedangkan klasifikasi musim hujan adalah pada bulan November 2017-April 2018. Berikut adalah *windrose* untuk musim kemarau dan musim hujan.





Gambar 4.11. *Windrose* Musim Kemarau Surabaya  
Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.12. *Windrose* Musim Hujan Surabaya  
Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan gambar di atas, terlihat arah angin dominan berhembus dari timur ke barat. Hal ini konsisten dengan pergerakan angin muson timur ketika musim kemarau. Sedangkan pada musim hujan, angin berhembus dari barat ke timur. Hal ini konsisten dengan pergerakan angin muson barat ketika musim hujan.

Kecepatan angin dominan pada musim kemarau adalah pada kategori lebih dari 11 m/det, sedangkan kecepatan angin dominan pada musim hujan berkisar antara 5,7-8,8 m/det. Kondisi meteorologis ini yang akan menjadi acuan untuk pembuatan skenario dispersi pencemar udara non-konservatif.

#### 4.3. Perhitungan Beban Emisi

Perhitungan beban emisi bertujuan untuk memperkirakan besar emisi yang dihasilkan dari aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat. Perhitungan beban emisi NO<sub>x</sub> dari sumber garis didasarkan pada perhitungan beban emisi IPCC Tier 1 (Persamaan 2.14-2.15). Rumus perhitungan beban emisi tersebut adalah:

$$E_a = A \times EF \times L \times f$$

Dimana:

E<sub>a</sub> = Beban emisi (gr/waktu)

A = Jumlah kendaraan (kend/waktu)

EF = Faktor emisi (gr/km)

L = Panjang jalan (km)

f = Faktor penyesuaian beban emisi dengan kecepatan

Berikut adalah contoh perhitungan beban emisi untuk Jalan Embong Malang pada jam 05.00-05.30:

Diketahui

Panjang jalan = 0,77 km

Jumlah motor = 1948 kendaraan

Kecepatan rata-rata = 47 km/jam

Faktor emisi = 0,29 gr/km

Faktor penyesuaian = 1,14

Beban emisi = 1948 kendaraan x 0,29 gr/km x 0,77 km x 1,14

= 495,89 gr/30 menit = 0,275 gr/det

Perhitungan kendaraan lainnya terdapat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data Perhitungan Beban Emisi Jalan Embong Malang

Klasifikasi	Jumlah (kend)	Kecepatan rata-rata (km/jam)	Faktor emisi (gr/km)	Faktor penyesuaian	Beban Emisi (gr/30 menit)
Motor	1948	47	0,29	1,14	495,89
Mobil Pribadi	814	60	2,3	1	1441,59
Angkot	15	60	2,1	1	24,26
Taxi	35	60	2,8	1	75,46
Bus Mini	0	60	11,9	1	0,00
Pick Up/box	59	60	2	1	90,86
Mini Truk	2	60	1,55	1	2,39
Bus Besar	3	52	11,9	1,08	29,69
Truk 2 sb	3	52	17,7	1,08	44,16
Truk 3 sb	3	52	17,7	1,08	44,16
Truk Gandeng	0	52	17,7	1,08	0,00
Trailer	0	52	17,7	1,08	0,00

Sumber: Hasil perhitungan

Sehingga, total beban emisi untuk Jalan Embong Malang pada Pukul 05.00-05.30 adalah 2.248,85 gr/30 menit atau 1,25 gr/detik. Tabel 4.6. berikut menunjukkan beban emisi harian pada jalan yang disurvey.

Tabel 4.6. Beban Emisi Harian

Waktu	1	2	3	4	5	Total	Rata-rata
05.00-05.30	0,91	1,15	1,26	3,78	2,33	9,44	1,89
05.30-06.00	1,10	1,29	1,24	3,85	2,45	9,93	1,99
06.00-06.30	2,13	1,99	1,32	3,58	2,44	11,46	2,29
06.30-07.00	2,17	2,00	1,25	3,75	2,61	11,78	2,36

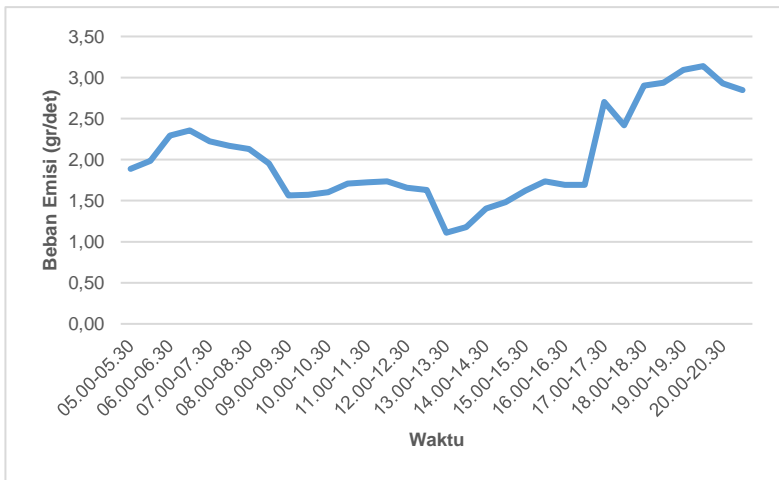
Waktu	1	2	3	4	5	Total	Rata-rata
07.00-07.30	1,64	2,06	1,18	3,58	2,66	11,12	2,22
07.30-08.00	1,59	2,15	1,23	2,69	3,16	10,83	2,17
08.00-08.30	1,75	2,08	1,11	2,64	3,06	10,64	2,13
08.30-09.00	1,65	2,08	1,11	2,37	2,56	9,77	1,95
09.00-09.30	1,69	1,06	1,15	1,61	2,32	7,82	1,56
09.30-10.00	1,67	1,20	1,20	1,56	2,25	7,87	1,57
10.00-10.30	1,67	1,09	1,20	1,66	2,40	8,02	1,60
10.30-11.00	1,68	1,17	1,38	1,76	2,54	8,53	1,71
11.00-11.30	1,67	1,32	1,24	1,79	2,59	8,61	1,72
11.30-12.00	1,69	1,29	1,17	1,85	2,67	8,67	1,73
12.00-12.30	1,66	1,23	1,13	1,74	2,52	8,29	1,66
12.30-13.00	1,70	1,28	1,17	1,63	2,36	8,15	1,63
13.00-13.30	2,03	1,32	1,36	0,34	0,50	5,55	1,11
13.30-14.00	2,08	1,39	1,48	0,38	0,55	5,89	1,18
14.00-14.30	2,46	1,81	1,75	0,41	0,59	7,02	1,40
14.30-15.00	2,48	2,18	1,75	0,41	0,59	7,41	1,48
15.00-15.30	2,77	2,30	1,96	0,44	0,64	8,10	1,62
15.30-16.00	2,90	2,39	2,00	0,57	0,82	8,67	1,73
16.00-16.30	3,05	2,49	1,88	0,43	0,62	8,47	1,69
16.30-17.00	3,01	2,62	1,89	0,38	0,55	8,45	1,69
17.00-17.30	2,66	2,84	2,09	2,42	3,49	13,51	2,70
17.30-18.00	2,36	2,84	1,82	2,08	3,00	12,09	2,42
18.00-18.30	1,93	2,99	1,95	3,13	4,51	14,50	2,90
18.30-19.00	2,09	3,07	1,78	3,17	4,58	14,69	2,94
19.00-19.30	1,85	3,03	1,61	3,67	5,29	15,46	3,09
19.30-20.00	1,57	2,78	1,54	4,01	5,79	15,70	3,14
20.00-20.30	1,10	2,52	1,43	3,93	5,67	14,65	2,93

Waktu	1	2	3	4	5	Total	Rata-rata
20.30-21.00	1,21	2,25	1,23	3,91	5,64	14,24	2,85

Sumber: Hasil perhitungan

\*) Keterangan:

1. Jalan Urip Sumoharjo
2. Jalan Pemuda
3. Jalan Embong Malang
4. Jalan Panglima Sudirman
5. Jalan Basuki Rahmat



Gambar 4.13. Fluktuasi Beban Emisi

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan gambar 4.13, terlihat bahwa puncak beban emisi adalah pada jam 18.30-20.00 malam. Hal ini konsisten dengan derajat kejenuhan tertinggi, yaitu pada puncak malam di Jalan Panglima Sudirman. Sehingga, dapat terlihat bahwa lalu lintas di Jalan Panglima Sudirman memiliki peran yang besar terhadap beban emisi pada wilayah survey Surabaya Pusat.

Untuk melengkapi data jalan yang disurvei, maka dilakukan prakiraan beban emisi pada jalan arteri sekunder yang tidak disurvei. Beban emisi pada jalan tersebut menggunakan beban emisi rata-rata pada seluruh jalan arteri sekunder yang disurvei.

Kemudian dibuat faktor harian dengan menggunakan pendekatan karakteristik jalan yang sama (Ha dan Oh, 2014). Faktor harian merepresentasikan volume lalu lintas yang terjadi setiap 30 menit. Faktor ini dianggap merepresentasikan lalu lintas pada waktu tersebut untuk setiap harinya. Berikut adalah contoh perhitungan pembuatan faktor harian.

Rata-rata konsentrasi harian = 2,03 gr/det

Rata-rata konsentrasi pada jam 05.00-05.30 = 1,89 gr/det

Faktor jam 05.00-05.30 =  $1,89 / 2,03 = 0,93$  gr/det

Tabel 4.7 berikut menunjukkan faktor per 30 menit dari beban emisi untuk masing-masing jalan.

Tabel 4.7. Faktor Harian

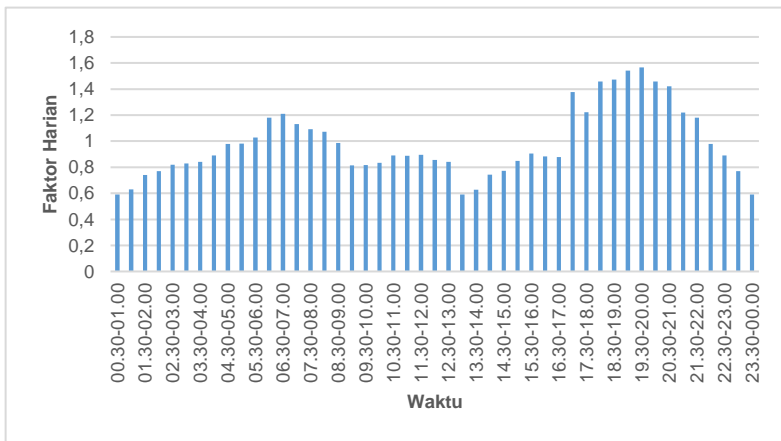
Waktu	Faktor	Waktu	Faktor	Waktu	Faktor
05.00-05.30	0,98	10.30-11.00	0,89	16.00-16.30	0,88
05.30-06.00	1,03	11.00-11.30	0,89	16.30-17.00	0,88
06.00-06.30	1,18	11.30-12.00	0,89	17.00-17.30	1,38
06.30-07.00	1,21	12.00-12.30	0,86	17.30-18.00	1,22
07.00-07.30	1,13	12.30-13.00	0,84	18.00-18.30	1,46
07.30-08.00	1,09	13.00-13.30	0,59	18.30-19.00	1,47
08.00-08.30	1,07	13.30-14.00	0,63	19.00-19.30	1,54
08.30-09.00	0,99	14.00-14.30	0,74	19.30-20.00	1,57
09.00-09.30	0,81	14.30-15.00	0,77	20.00-20.30	1,46
09.30-10.00	0,82	15.00-15.30	0,85	20.30-21.00	1,42
10.00-10.30	0,83	15.30-16.00	0,91		

Sumber: Hasil perhitungan

Faktor harian berdasarkan data jalan yang disurvei baru mencakup 16 jam pemantauan. Sehingga, untuk mencakup 24 jam pemantauan, dibuat ekstrapolasi data beban emisi lalu lintas. Ekstrapolasi data menggunakan pendekatan sesuai dengan tren dan faktor yang ada. Asumsi yang digunakan adalah beban emisi terendah ada pada jam 00.00-01.00. Gambar 4.9 dan tabel 4.6 berikut menunjukkan hasil ekstrapolasi data beban emisi.

Tabel 4.8. Hasil Ekstrapolasi Data

Waktu	Faktor	Waktu	Faktor	Waktu	Faktor
00.30-01.00	0,59	03.00-03.30	0,83	21.30-22.00	1,18
01.00-01.30	0,63	03.30-04.00	0,84	22.00-22.30	0,98
01.30-02.00	0,74	04.00-04.30	0,89	22.30-23.00	0,89
02.00-02.30	0,77	04.30-05.00	0,98	23.00-23.30	0,77
02.30-03.00	0,82	21.00-21.30	1,22	23.30-00.00	0,59



Gambar 4.14. Grafik Hasil Ekstrapolasi Data

Sumber: Hasil perhitungan

Selain faktor harian, data juga dikonversi menjadi data mingguan. Faktor mingguan merepresentasikan jumlah volume lalu lintas selama satu hari. Sehingga, akan terbentuk data beban emisi setiap harinya selama seminggu. Hal ini dapat meningkatkan akurasi faktor harian yang digunakan (Ha dan Oh, 2014). Acuan data yang digunakan untuk pembuatan faktor mingguan adalah penelitian Utomo (2016) terkait volume lalu lintas harian di beberapa ruas jalan di Surabaya. Hasil penelitian yang diambil adalah pada Jalan Dupak, dikarenakan Jalan Dupak termasuk jalan arteri sekunder yang berlokasi di Surabaya Pusat.

Berikut adalah data hasil survey dan faktor mingguan yang dibuat berdasarkan rata-rata harian.

Tabel 4.9. Faktor Mingguan

Hari	LHR	Faktor Harian
Senin	14085	0,988
Selasa	14356	1,007
Rabu	14008	0,983
Kamis	14645	1,028
Jumat	13670	0,959
Sabtu	15327	1,075
Minggu	13670	0,959

Sumber: Utomo, 2016 dan Hasil perhitungan

Berdasarkan kedua faktor di atas, maka didapatkan faktor beban emisi total untuk masing-masing waktu. Sehingga, data yang didapatkan bisa digunakan untuk menjalankan model selama 7 hari. Tabel 4.10 adalah contoh untuk faktor hari Minggu selama 24 jam. Sedangkan hasil perhitungan keseluruhan terlampir pada lampiran. Berikut adalah contoh perhitungan faktor beban emisi total untuk hari Minggu pukul 00.30-01.00.

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor jam 00.30-01.00} &= 0,59 \\
 \text{Faktor hari Minggu} &= 0,959 \\
 \text{Faktor total} &= 0,59 \times 0,959 \\
 &= 0,565
 \end{aligned}$$

Tabel 4.10. Faktor Total Hari Minggu

Waktu	Faktor Harian	Faktor Mingguan	Faktor Total
00.30-01.00	0,59	0,959	0,566
01.00-01.30	0,63	0,959	0,604
01.30-02.00	0,74	0,959	0,710
02.00-02.30	0,77	0,959	0,738
02.30-03.00	0,82	0,959	0,786
03.00-03.30	0,83	0,959	0,796



03.30-04.00	0,84	0,959	0,806
04.00-04.30	0,89	0,959	0,854
04.30-05.00	0,98	0,959	0,940
05.00-05.30	0,98	0,959	0,940
05.30-06.00	1,03	0,959	0,985
06.00-06.30	1,18	0,959	1,131
06.30-07.00	1,21	0,959	1,160
07.00-07.30	1,13	0,959	1,084
07.30-08.00	1,09	0,959	1,046
08.00-08.30	1,07	0,959	1,029
08.30-09.00	0,99	0,959	0,945
09.00-09.30	0,81	0,959	0,781
09.30-10.00	0,82	0,959	0,783
10.00-10.30	0,83	0,959	0,801
10.30-11.00	0,89	0,959	0,853
11.00-11.30	0,89	0,959	0,853
11.30-12.00	0,89	0,959	0,858
12.00-12.30	0,86	0,959	0,821
12.30-13.00	0,84	0,959	0,808
13.00-13.30	0,59	0,959	0,567
13.30-14.00	0,63	0,959	0,601
14.00-14.30	0,74	0,959	0,712
14.30-15.00	0,77	0,959	0,740
15.00-15.30	0,85	0,959	0,814
15.30-16.00	0,91	0,959	0,869
16.00-16.30	0,88	0,959	0,846
16.30-17.00	0,88	0,959	0,841
17.00-17.30	1,38	0,959	1,322

17.30-18.00	1,22	0,959	1,173
18.00-18.30	1,46	0,959	1,398
18.30-19.00	1,47	0,959	1,412
19.00-19.30	1,54	0,959	1,479
19.30-20.00	1,57	0,959	1,503
20.00-20.30	1,46	0,959	1,399
20.30-21.00	1,42	0,959	1,363
21.00-21.30	1,22	0,959	1,170
21.30-22.00	1,18	0,959	1,132
22.00-22.30	0,98	0,959	0,940
22.30-23.00	0,89	0,959	0,854
23.00-23.30	0,77	0,959	0,738
23.30-00.00	0,59	0,959	0,566

---

#### **4.4. Aplikasi Model Gauss Termodifikasi Terhadap Reseptor Tertentu**

Aplikasi model terhadap suatu reseptor dilakukan untuk melakukan pengujian performa model terhadap suatu kondisi. Pengujian performa model dilakukan untuk mengetahui kesesuaian aplikasi model untuk dispersi pencemar dari sumber garis, khususnya di wilayah Surabaya Pusat. Perbandingan performa model adalah dengan data yang tercatat pada stasiun pemantau kualitas udara. Reseptor tertentu yang dijadikan acuan adalah SUF-1. Data yang dijadikan acuan meliputi data konsentrasi NO<sub>2</sub> dan data meteorologi lokal.

##### **4.4.1. Perhitungan dengan Matlab**

Untuk mempermudah perhitungan model, maka digunakan piranti lunak *matrix laboratory* (Matlab). Perhitungan dengan Matlab menggunakan *script* khusus sesuai dengan kebutuhan pengolahan data. Parameter model yang dimasukkan terdapat pada tabel 4.11.

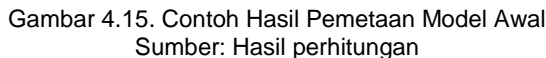
Tabel 4.11. Parameter Model

No	Paramater	Symbol	Value	Unit
1	Dispersion Coeffisien in horizontal direction	Dy	1000	m <sup>2</sup> /s
2	Dispersion Coeffisien in vertical (z) direction	Dz	1000	m <sup>2</sup> /s
3	Ambient Temperature	T <sub>0</sub>	30	C
Model Setting				
1	Starting Date, time	02/09/2017 00:30		
2	Interval of Analysis	0,5	hour n x n	
3	Grid Number	300	n	
Determine of Modelling Area				
1	Lowest Lattitude; min_x	112,697	° (E)	
2	Highest Lattitude; max_x	112,789	° (E)	
3	Lowest Longitude; min_y	-7,307	° (S)	
4	Highest Longitude; max_y	-7,217	° (S)	
5	City	Surabaya		
6	Insert Administrative Map			
Input Data For Model				
1	Source Height	He	0,400	m
2	Receptor Height	Rec	4,5	m

Parameter tersebut disesuaikan dengan model yang akan digunakan terhadap daerah yang spesifik. Parameter ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan permodelan. Pada permodelan tahap pertama ini, model dilakukan untuk wilayah Surabaya Pusat saja sebagai pusat persebaran pencemar. Selain memasukkan parameter yang diperlukan, dimasukkan juga peta wilayah Surabaya Pusat. Peta wilayah ini akan menjadi peta dasar untuk penempatan sumber emisi.

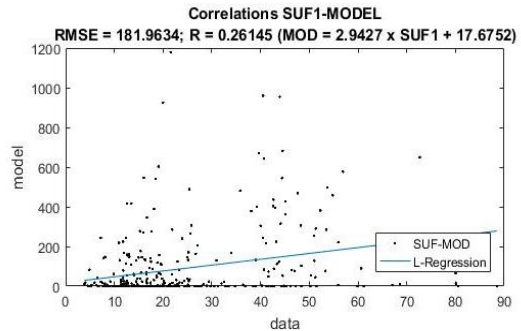
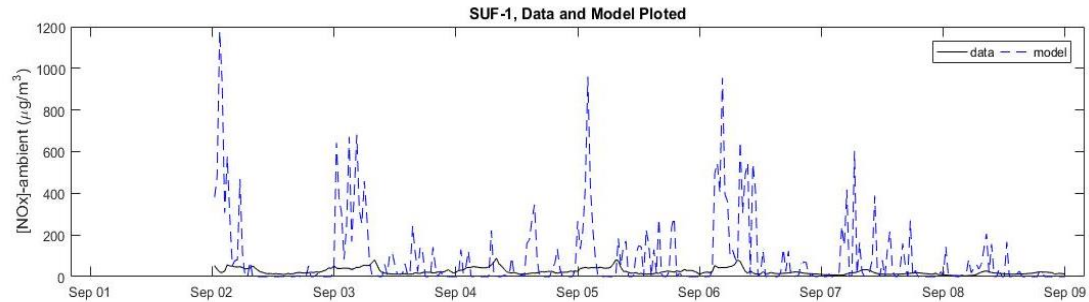
Setelah memasukkan parameter yang diperlukan ke dalam dokumen microsoft excel dan membuat peta wilayah Surabaya

Gambar 4.16 berikut menunjukkan contoh hasil *running script* pertama. *Running* perhitungan dilakukan melalui *script* analisis data, dimana pada *script* ini semua parameter dimasukkan, termasuk parameter yang berubah sesuai dengan seri data. Parameter yang dimaksud antara lain faktor beban emisi, kinetika reaksi arah, dan kecepatan angin. Selain itu juga dimasukkan data pembanding, yaitu data kualitas udara dari SUF-1. Keluaran dari *script* ini adalah hasil analisis korelasi dan RMSE antara model dan data SUF-1. Contoh keluaran *script* ini adalah gambar 4.17.



#### 4.4.2. Hasil dan Analisis Perhitungan

Perhitungan model dengan Matlab dilakukan untuk beberapa kondisi. Hal ini bertujuan sebagai perbandingan performa model untuk memodelkan dispersi pencemar udara dari sumber lalu lintas di Surabaya Pusat. Variasi kondisi yang digunakan adalah variasi musim, yaitu kemarau dan penghujan. Hal ini disebabkan terdapat perbedaan parameter pada kedua musim ini, antara lain kecepatan dan arah angin dan kinetika reaksi. Kondisi pertama adalah *running script* dengan parameter musim kemarau. Gambar 4.17 menunjukkan hasil korelasi dan RMSE dari *running script* ini.



Gambar 4.16. Hasil *running script* Musim Kemarau  
Sumber: Hasil perhitungan

Gambar 4.17 menggambarkan hasil model yang fluktuatif dan memiliki konsentrasi yang cukup jauh dibandingkan dengan data pengukuran di SUF-1. Banyak kondisi dalam seri data yang menunjukkan lonjakan konsentrasi model. Hal ini dapat disebabkan karena arah angin yang langsung menuju ke SUF-1 dengan kecepatan angin yang tinggi dan nilai beban emisi yang tinggi. Dikarenakan jarak SUF-1 tidak jauh dari sumber emisi, maka konsentrasi model pada titik SUF-1 bernilai sangat besar.

Namun, lonjakan konsentrasi model yang terjadi bersifat ekstrem, yaitu dapat mencapai nilai  $1.200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Perbedaan yang muncul terlalu jauh jika dibandingkan dengan konsentrasi yang tercatat pada SUF-1. Fenomena ini hampir tidak mungkin terjadi pada kondisi rata-rata harian. Hal ini disebabkan pada waktu yang singkat, pencemar akan langsung terdispersi, tidak terakumulasi pada satu titik sesuai dengan stabilitas atmosfer. Hal ini belum dipertimbangkan dalam penyusunan model. Sehingga, diperlukan kalibrasi untuk menormalisasi nilai konsentrasi model.

Parameter statistik sebagai ukuran performa model adalah nilai korelasi dan nilai RMSE. Nilai korelasi yang dihasilkan adalah 0,26145. Hal ini berarti bahwa data yang tercatat dengan model memiliki hubungan sebesar 26,14%. Sedangkan nilai RMSE model sebesar 181,96. Untuk memastikan bahwa verifikasi yang dilakukan lebih akurat, maka beberapa data hasil permodelan dieliminasi.

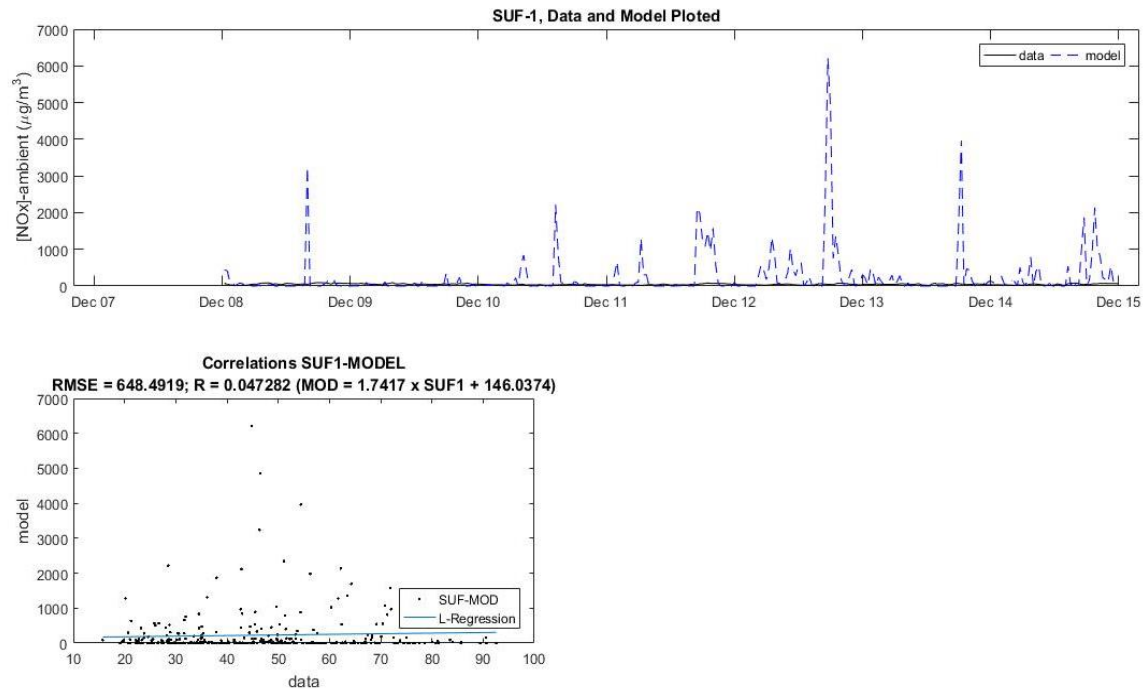
Data yang dieliminasi merupakan data model saat kondisi arah angin menjauhi SUF-1, yaitu pada rentang  $225^\circ$ - $270^\circ$ . Setelah itu, data kembali dieliminasi berdasarkan standar deviasi dari selisih antara data model dengan data SUF-1. Hal ini bertujuan untuk memperbaiki perhitungan nilai RMSE model. Dengan demikian, total data yang digunakan adalah 114 data. Banyaknya data yang dieliminasi dikarenakan mayoritas data arah angin tidak menuju SUF-1. Dengan demikian, maka nilai korelasi dan RMSE sudah terkoreksi dengan menggunakan data yang lebih akurat. Setelah data dieliminasi, nilai korelasi naik menjadi 0,35 dan nilai RMSE turun menjadi 95,16.

Berdasarkan Kusminingrum dan Gunawan (2008), aktivitas lalu lintas berkontribusi 70 % terhadap pencemaran udara di perkotaan. Sedangkan, target nilai korelasi berdasarkan US EPA,

yaitu 0,572, digunakan untuk model dengan banyak sumber pencemar. Sehingga, target korelasi dibobotkan sesuai dengan kontribusi pencemar, yaitu 0,4004. Dengan nilai korelasi permodelan sebesar 0,35, hasil permodelan sudah berkorelasi dekat dengan hasil data lapangan. Sedangkan nilai RMSE juga sudah lebih baik dengan mengecilnya deviasi data.

Faktor yang masih mempengaruhi tingkat error pada model ini adalah belum memperhitungkan besar serapan tumbuhan pada ruang terbuka hijau terhadap parameter  $\text{NO}_x$ . Penelitian oleh Nasrullah *et al.* (2000) menunjukkan bahwa serapan gas  $\text{NO}_2$  oleh tanaman berkisar antara 0,28-68,31  $\mu\text{g/g}$ , semak 1,97-100,02  $\mu\text{g/g}$ , dan tanaman penutup tanah antara 2,38-24,06  $\mu\text{g/g}$ . Selain itu juga pada penelitian ini belum mempertimbangkan *barrier* yang ada di wilayah Surabaya Pusat, yaitu gedung-gedung tinggi yang memunculkan fenomena *street canyon*.





Gambar 4. 17. Hasil *running script* musim hujan  
 Sumber: Hasil perhitungan

Selanjutnya adalah *running script* untuk kondisi musim penghujan. Hasil *running script* tersebut terdapat pada gambar 4.18. Secara umum, masih terjadi lonjakan data pada beberapa seri data, namun jumlah lonjakannya tidak sebanyak *script* musim kemarau. Hal ini bisa dipengaruhi oleh frekuensi arah dan kecepatan angin yang menuju ke SUF-1 yang tidak sebanyak pada musim kemarau. Lonjakan konsentrasi yang terjadi juga masih bersifat ekstrem, dengan konsentrasi mencapai  $6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Namun, berdasarkan indikator performa model, performa model pada musim hujan bernilai lebih rendah dibandingkan performa pada musim kemarau. Pada musim penghujan, nilai korelasi data hanya sebesar 0,047, jauh lebih rendah daripada model pada musim kemarau. Nilai RMSE pun jauh lebih tinggi, mencapai 648,49. Untuk meningkatkan akurasi perhitungan statistik, maka dilakukan eliminasi data dengan metode yang sama seperti data untuk musim kemarau. Sehingga, data yang digunakan sebanyak 255 data dengan arah angin menuju SUF-1 dan tidak *outlier*.

Dengan demikian, nilai korelasi yang diperoleh adalah 0,051 dengan nilai RMSE 237,19. Nilai ini masih jauh dari target korelasi terbobotkan (0,4004). Namun, nilai RMSE sudah jauh menurun. Hal ini menunjukkan bahwa performa model belum memuaskan ketika musim hujan.

Selain karena faktor serapan polutan oleh ruang terbuka hijau, kecilnya nilai akurasi ini dapat disebabkan oleh adanya faktor yang belum dimasukkan ke dalam model, yaitu faktor *flushing* oleh hujan. Penelitian yang dilakukan oleh Sudalma *et al* (2015) di Kota Semarang menunjukkan bahwa  $\text{NO}_2$  dari aktivitas transportasi menyebabkan 27,1% kandungan nitrat dalam air hujan. Sehingga, faktor *flushing* adalah salah satu pertimbangan dalam upaya kalibrasi model.

Secara umum, performa model belum cukup baik untuk digunakan secara spesifik untuk sumber emisi dari aktivitas transportasi di wilayah Surabaya Pusat. Sehingga, masing-masing model memerlukan kalibrasi lebih lanjut. Kalibrasi nantinya bertujuan untuk meningkatkan nilai korelasi dan menurunkan nilai RMSE. Kalibrasi yang digunakan dapat

menggunakan faktor ruang terbuka hijau, faktor *flushing* hujan, dan faktor *street canyon* yang dipengaruhi oleh banyaknya gedung tinggi di wilayah tersebut.

#### **4.5. Analisis Perubahan Kualitas Udara Ambien Akibat Aktivitas Lalu Lintas**

##### **4.5.1. Penentuan Skenario Perubahan Kualitas Udara Ambien**

Skenario perubahan kualitas udara ditentukan berdasarkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi dispersi pencemar udara non-konservatif. Faktor tersebut antara lain arah dan kecepatan angin (Vallero, 2008). Arah dan kecepatan angin bervariasi tergantung musim. Sehingga, skenario ini juga mencakup perbedaan musim yang terdapat di Indonesia, yaitu musim kemarau dan musim hujan.

Selain karena faktor dispersi pencemar, skenario ini juga dibuat berdasarkan kinetika reaksi pencemar non-konservatif NO<sub>2</sub>. Kinetika reaksi ini juga bervariasi terhadap musim kemarau dan musim hujan (Assomadi, 2016). Sehingga, disusun skenario berdasarkan beberapa aspek ini.

Skenario dibuat atas beberapa ketetapan, antara lain:

1. Skenario dibuat untuk kondisi pencemaran terburuk, yaitu saat emisi terburuk. Kondisi ini terjadi saat jam puncak lalu lintas pada malam hari. Faktor yang digunakan adalah 1,685 dari total beban emisi yang ada.
2. Kinetika reaksi yang digunakan menyesuaikan dengan waktu dengan kondisi beban pencemar terburuk. Kinetika reaksi yang digunakan adalah 1,098 untuk musim kemarau, dan 0,5522 untuk musim hujan.

Tabel 4.12 menunjukkan matriks skenario perubahan kualitas udara ambien berdasarkan musim dan kecepatan angin. Kecepatan angin diklasifikasikan berdasarkan skala Beaufort. Kecepatan angin rendah (1) ditentukan berdasarkan skala Beaufort 3. Sedangkan kecepatan angin tinggi (3) ditentukan berdasarkan skala Beaufort 5. Tabel 4.13 menunjukkan arah dan kecepatan angin yang digunakan pada masing-masing skenario.

Tabel 4.12. Matriks Skenario Perubahan Kualitas Udara

Musim	Kecepatan Angin		
	Rendah (1)	Sedang (2)	Tinggi (3)
Kemarau (K)	K1	K2	K3
Penghujan (H)	H1	H2	H3

Tabel 4.13. Skenario Arah dan Kecepatan Angin

Arah	Kecepatan Angin (m/det)					
	Kemarau			Hujan		
	1	2	3	1	2	3
Utara (0)	2,50	4,50	8,00	3,00	4,91	6,90
Timur Laut (45)	3,00	4,80	7,23	2,83	5,00	6,95
Timur (90)	2,89	4,86	7,10	3,00	4,77	7,14
Tenggara (135)	2,78	4,93	7,03	3,00	4,80	7,05
Selatan (180)	3,00	5,00	6,43	2,56	4,94	6,69
Barat Daya (225)	2,92	4,92	5,69	2,92	4,97	6,46
Barat (270)	2,90	4,99	6,58	2,84	4,97	6,83
Barat Laut (315)	2,75	5,00	6,80	2,82	4,95	6,88

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.5.2. Perubahan Kualitas Udara Ambien

Perubahan kualitas udara akibat emisi aktivitas transportasi di wilayah Surabaya Pusat terjadi atas 6 skenario yang berbeda. Sebagai langkah awal, konsentrasi pencemar berdasarkan masing-masing skenario dihitung pada titik reseptor tertentu, Titik reseptor yang ditetapkan adalah SUF-1. Hasil perhitungan ini akan dijadikan acuan dalam penentuan perubahan kualitas udara ambien terburuk pada musim terpilih. Tabel 4.14 dan 4.15 berturut-turut menunjukkan data konsentrasi pencemar di SUF-1 pada musim kemarau dan hujan,

Tabel 4.14. Konsentrasi Pencemar pada Musim Kemarau

Arah	Konsentrasi di SUF-1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	K1	K2	K3
Utara (0)	1980,32	4141,98	5252,31
Timur Laut (45)	3161,82	6805,3	7993,71
Timur (90)	2459,18	5408,08	6997,59
Tenggara (135)	106,575	263,49	346,283
Selatan (180)	4,60E-06	2,15E-05	4,59E-05
Barat Daya (225)	0	0	0
Barat (270)	0	0	0
Barat Laut (315)	736,93	1733,66	2343,85
<b>Rata-rata</b>	<b>1055,6</b>	<b>2294,064</b>	<b>2866,718</b>

Tabel 4. 15. Konsentrasi Pencemar pada Musim Hujan

Arah	Konsentrasi di SUF-1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	H1	H2	H3
Utara (0)	1521,02	4082,95	5375,44
Timur Laut (45)	3179,93	6905,77	8858,59
Timur (90)	2358,12	5395,4	5395,4
Tenggara (135)	113,273	259,74	348,12
Selatan (180)	1,41E-05	3,65E-05	5,51E-05
Barat Daya (225)	0	0	0
Barat (270)	0	0	0
Barat Laut (315)	840,78	1677,77	2346,06
<b>Rata-rata</b>	<b>1001,64</b>	<b>2034,097</b>	<b>2790,451</b>

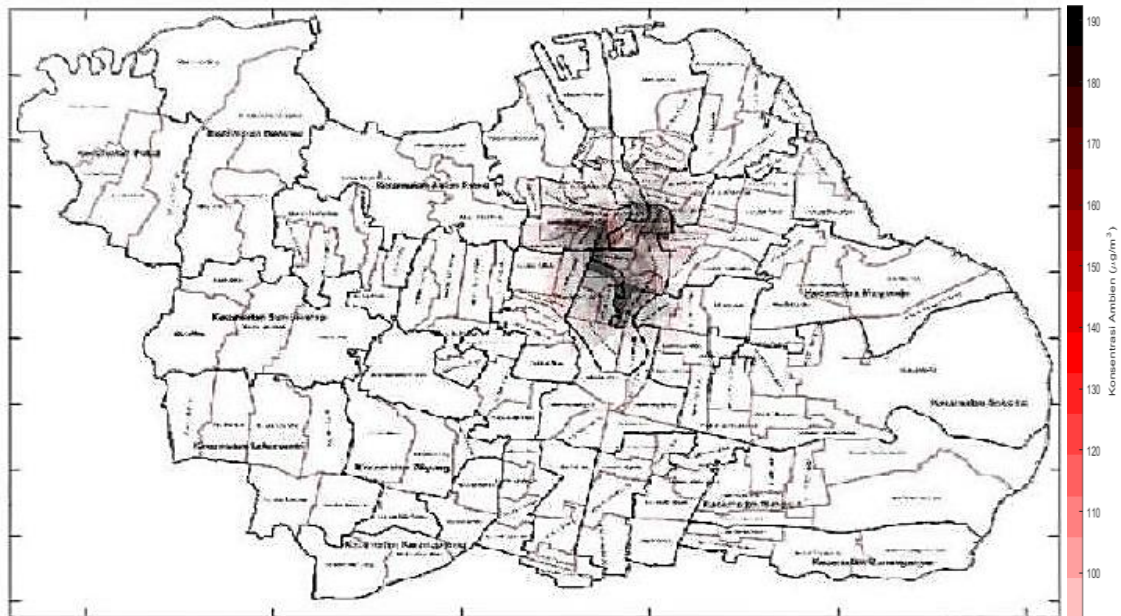
Berdasarkan hasil permodelan, didapatkan bahwa perubahan kualitas udara ambien terburuk terjadi pada kondisi angin dengan kecepatan tinggi (skala Beaufort 5). Nilai konsentrasi yang tinggi ini disebabkan persebaran pencemar udara meluas, sehingga persebaran konsentrasinya pun meluas.

Hal ini sesuai dengan profil konsentrasi pencemar terhadap jarak dan kecepatan angin. Perbedaan nilai konsentrasi pada musim kemarau dan hujan disebabkan oleh perbedaan kecepatan angin pada kedua musim. Pada semua skenario yang ada, kecenderungannya adalah konsentrasi  $\text{NO}_2$  model pada reseptor SUF-1 meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin dan perubahan arah angin yang menuju ke SUF-1. Hal ini dibuktikan bahwa konsentrasi pencemar tertinggi terjadi ketika arah angin mengarah dari arah  $45^\circ$  menuju arah  $225^\circ$ , yaitu langsung menuju SUF-1.

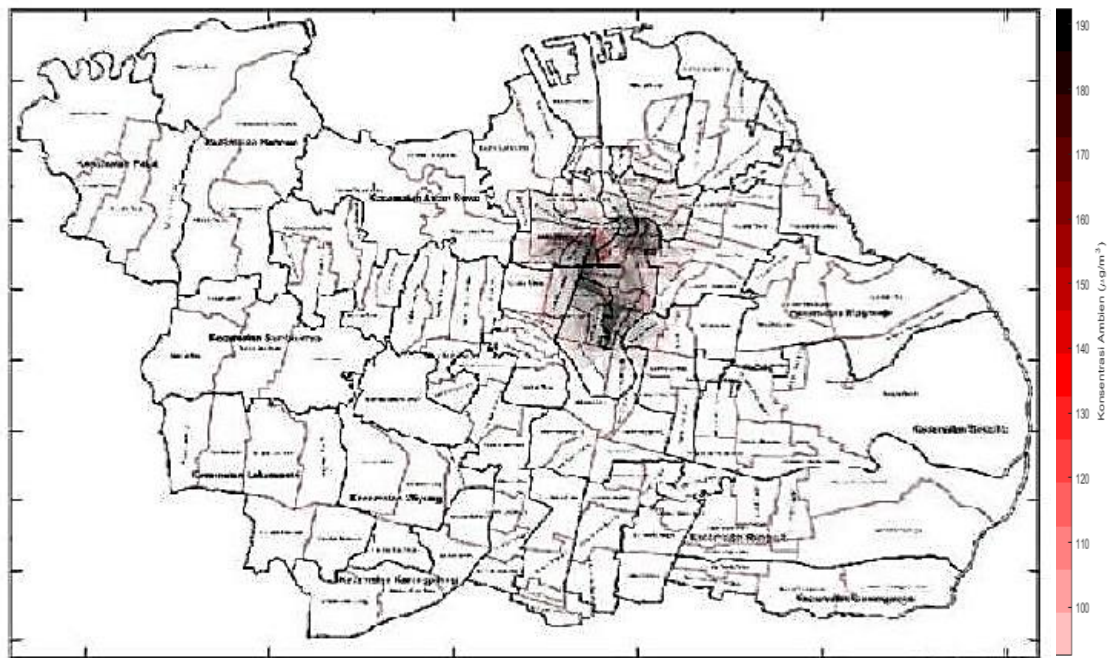
Secara teoritis, model ini sudah memenuhi teori terkait dengan model dispersi pencemar udara. Namun, angka konsentrasi yang diperoleh terlampaui tinggi dibandingkan dengan konsentrasi  $\text{NO}_x$  pada umumnya. Hal ini sudah dibahas dalam sub bab verifikasi model, dimana diperlukan kalibrasi lebih lanjut untuk meningkatkan performa model.

Berdasarkan skenario tersebut, maka perubahan kualitas udara ambien terburuk terjadi ketika kecepatan angin berada dalam skala Beaufort nomor 5 pada musim kemarau dan musim penghujan. Kondisi perubahan kualitas udara ambien terburuk ini membutuhkan analisis lanjutan terkait dengan wilayah-wilayah yang terkena dampaknya. Analisis ini dapat dilakukan dengan melakukan *overlay* kontur persebaran pencemar ke delapan arah mata angin.

*Overlay* gambar bertujuan untuk menentukan wilayah terkena dampak pencemaran  $\text{NO}_x$  yang melebihi baku mutu. Baku mutu yang diacu adalah Peraturan Gubernur Jatim No. 10 Tahun 2009, yaitu  $92,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . *Overlay* dilakukan menggunakan piranti lunak Matlab dengan *script* terlampir. Gambar 4.21 dan 4.22 berikut menunjukkan kontur persebaran pencemar  $\text{NO}_x$  dari aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat terhadap kondisi kualitas udara ambien di wilayah Surabaya.



Gambar 4.18. Hasil *Overlay* Kota Surabaya pada Skenario K3 (Tanpa skala)



Gambar 4.19. Hasil *overlay* Kota Surabaya Skenario H3 (Tanpa skala)



Pada kedua gambar *overlay* tersebut, tergambarkan dispersi pencemar udara  $\text{NO}_x$  dari aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat dengan representasi kontur berwarna hitam. Kontur berwarna hitam menggambarkan bahwa wilayah tersebut terdampak pencemaran oleh  $\text{NO}_x$  dengan konsentrasi melebihi baku mutu. Kontur ini merepresentasikan persebaran pencemar  $\text{NO}_x$  ke delapan arah mata angin. Secara umum, visualisasi kontur pada kedua musim mirip. Hal ini dikarenakan kemiripan karakteristik skenario yang digunakan pada kedua musim. Namun, resolusi peta yang dihasilkan masih buruk, sehingga perlu diperbaiki dengan memasukkan peta dengan resolusi yang lebih baik dan menjalankan *script* tertentu yang menjaga kualitas gambar peta yang dihasilkan dari Matlab.

Berdasarkan pendekatan perhitungan radius sebaran dengan menggunakan piranti lunak Autocad, maka radius sebaran pencemar  $\text{NO}_x$  pada kedua musim saat kondisi terburuk adalah 4,2-4,4 km dari episentrum sebaran. Sehingga, hampir seluruh kelurahan pada wilayah Surabaya Pusat terkena dampak dari aktivitas lalu lintas yang terjadi. Selain itu, sedikit wilayah pada Surabaya Utara juga terdampak, seperti wilayah Perak. Sehingga, nantinya wilayah ini yang perlu mendapatkan perhatian khusus terkait dengan pencemaran udara akibat aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat.

Hasil *overlay* sudah dapat merepresentasikan hasil permodelan dispersi pencemar udara di wilayah perkotaan. Hal ini terlihat dari visualisasi persebaran yang dihasilkan. Sehingga, analisis lanjutan terkait pengendalian pencemaran udara secara komprehensif dapat dilakukan. Namun, resolusi gambar keluaran analisis Matlab harus ditingkatkan, sehingga peta yang dihasilkan lebih akurat dan lebih mudah dianalisis.

***Halaman ini sengaja dikosongkan.***

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain:

1. Model persebaran emisi dari sumber lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat dapat menggunakan model Gauss termodifikasi. Modifikasi yang digunakan adalah penambahan faktor kinetika reaksi  $\text{NO}_2$ . Korelasi model pada musim kemarau dan hujan berturut-turut adalah 0,35 dan 0,051. Sedangkan nilai RMSE pada musim kemarau dan hujan berturut-turut adalah 95,16 dan 237,19.
2. Perubahan kualitas udara ambien akibat aktivitas lalu lintas di wilayah Surabaya Pusat terjadi akibat beberapa hal, seperti beban emisi yang tinggi, arah, dan kecepatan angin. Perubahan kualitas udara ambien terburuk terjadi dalam kondisi musim kemarau dengan kecepatan angin 5,5-8 m/det. Radius sebaran pencemar adalah 4,2-4,4 km.

#### **5.2. Saran**

Saran untuk penelitian lanjutan adalah:

1. Perlunya ada kalibrasi model lanjutan, sehingga model dapat digunakan secara spesifik untuk sumber emisi dari transportasi pada wilayah Surabaya Pusat. Kalibrasi model dapat dilakukan dengan penambahan koefisien dan variabel tertentu yang mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.
2. Melakukan perbaikan resolusi dan kualitas peta hasil *overlay* untuk mempermudah analisis. Selain itu, mengintegrasikan *script* pembuatan *overlay* peta pada piranti Matlab.
3. Memasukkan faktor serapan pencemar oleh ruang terbuka hijau, *flushing* hujan, dan fenomena *street*

*canyon* sebagai faktor yang mempengaruhi dispersi pencemar udara.

4. Melaksanakan pengembangan piranti lunak yang lebih sederhana. Hal ini bertujuan agar model bisa digunakan secara lebih luas oleh masyarakat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aleksic, N., Kent, J., dan Walcek, C. 2016. "Ozone concentrations in air flowing into New York State." **Atmospheric Environment** 141, 454-461.
- Antanasijević, D., Pocajt, V., Perić-Grujić, A., dan Ristić, M. 2017. "Multiple-input-multiple-output general regression neural networks model for the simultaneous estimation of traffic-related air pollutant emissions." **Atmospheric Pollution Research**, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.10.011>.
- Assomadi, A.F. 2016. **Pendekatan Baru Model Distribusi Pencemar di Atmosfer Perkotaan**. Disertasi, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Assomadi, A.F., Widodo, B., dan Hermana, J. 2016. "The kinetic approach of NO<sub>x</sub> photoreaction related to ground measurement of solar radiation in estimates of surface ozone concentration." **International Journal of ChemTech Research** 9, 182-190.
- Badan Pusat Statistik. 2017. **Kota Surabaya dalam Angka 2017**. BPS Kota Surabaya.
- Biancofiore, F., Verdecchia, M., Carlo, PD., Tomassetti, B., Aruffo, E., Busilacchio, M., Bianco, S., Tommaso, SD., Colangeli, C. 2015. "Analysis of surface ozone using a recurrent neural network." **Science of the Total Environment**, 514, 379-387.
- Chai, T. dan Draxler, R.R. 2014. "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) – Arguments against avoiding RMSE in the literature." **Geoscientific Model Development** 7, 1247-1250.
- Chen, X., Liu, Y., Lai, A., Han, S., Fan, Q., Wang, X., Ling, Z., Huang, F., dan Fan, S. 2018. "Factors dominating 3-dimensional ozone distribution during high tropospheric ozone period." **Environmental Pollution** 232, 55-64.
- Constantya, Q. 2017. **Studi Pola Konsentrasi Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya (Parameter : NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)**. Tugas Akhir, Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- De Visscher, A. 2014. **Air Dispersion Modeling**. New Jersey : Wiley.

- Doglu Parmak, SC dan Ozbay, B. 2011. "Investigating Correlations and Variations of Air Pollutant Concentrations under Conditions of Rapid Industrializations." **Clean-Soil, Air, Water** 39, 597-604.
- Gao, W., Tie, X., Xu, J., Huang, R., Mao, X., Zhou, G., dan Chang, L. 2017. "Long term trend of O<sub>3</sub> in a mega city (Shanghai), China : Characteristics, causes, and interaction with precursors." **Science of Total Environment** 603-604, 425-433.
- Ha, JA, dan Oh, JS. 2014. "Estimating Annual Average Daily Traffic using Daily Adjustment Factor." **Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences** 5, 7, 580-587.
- Handayani, D., Soelistijadi, R., dan Sunardi. 2005. "Pemanfaatan analisis spasial untuk pengolahan data spasial sistem informasi geografi." **Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK** 10, 108-116.
- Haryanto, B. 2008. "Pengaruh pemilihan kondisi batas, langkah ruang, langkah waktu, dan koefisien difusi pada model difusi." **Aplika** 8, 1-7.
- Hatzopoulou, M. dan Miller, E.J. 2010. "Linking an activity-based travel demand model with traffic emission and dispersion models: Transport's contribution to air pollution in Toronto." **Transportation Research** 15, 315-325.
- Holnicki, P., Kaluszko, A., dan Trapp, W. 2015. "An urban scale application and validation of the Calpuff model." **Atmospheric Pollution Research**, 1-10.
- Holzbecher, E. 2012. **Environmental Modeling Using Matlab**. Berlin : Springer.
- Kampa, M. dan Castanas, E. 2008. "Human health effects of air pollution." **Environmental Pollution** 151, 362-367.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2010. **Peraturan Menteri Lingkungan No. 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah**. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. **Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2014**. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

- Kementerian Pekerjaan Umum. 2014. **Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia**. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kusminingrum, N. dan Gunawan, G. 2008. "Polusi udara akibat aktivitas kendaraan bermotor di jalan perkotaan pulau Jawa dan Bali." **Jurnal Jalan-Jembatan** 3, 25-30.
- Landolsi, J., Rehimi, F., dan Kalboussi, A. 2017. "Urban traffic and induced air quality modeling and simulation : Methodology and illustrative example." **Urban Climate** 21, 154-172.
- Macdonald, R. 2003. **Theory and Objectives of Air Dispersion Modelling**, Wind Engineering.
- Matthew, TV. 2014. **Transportation System Engineering**. Bombay : IIT.
- Ministry of the Environment. 2004. **Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling**. Wellington : Ministry for the Environment.
- Omasa K., Tobe K., Kondo T. (2002) **Absorption of Organic and Inorganic Air Pollutants by Plants**. In: Omasa K., Saji H., Youssefian S., Kondo N. (eds) *Air Pollution and Plant Biotechnology*. Springer: Tokyo.
- Pemerintah Provinsi Jawa Timur. 2009. **Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur**. Pemerintah Provinsi Jawa Timur.
- Republik Indonesia. 1999. **Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara**. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Republik Indonesia. 2004. **Undang-undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan Raya**. Sekretariat Negara, Jakarta.
- Santoso, E.B., Kusuma, S.H., dan Siswanto, V.K. 2016. "Air space modeling for living arrangement in Surabaya." **Procedia Social and Behavioral Science**. CITIES 2015.
- [SARPEDAL KLH] Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. **Air Quality Monitoring 2003**. Jakarta : KLH.
- Siregar, E.B. 2005. "Pencemaran udara, respon tanaman, dan pengaruhnya pada manusia." **e-USU Repository**.
- Soedomo, M. 2001. **Pencemaran Udara**. Bandung : ITB Press.

- Sportisse, B. 2010. **Fundamentals in Air Pollution**. New York : Wiley.
- Sun, C., Luo, Y., dan Li, J. 2018. "Urban traffic infrastructure investment and air pollution : Evidence from the 83 cities in China." **Journal of Cleaner Production** 172, 488-496.
- Sudalma, S., Purwanto, P., dan Santoso, L.W. 2015. "The effect of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> from Transportation and Stationary Emissions Source to SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in Rain Water in Semarang." **Procedia Environmental Sciences**. ICTCRED 2014.
- Susanto, C. 2015. **Indeks Pencemaran Udara**, <URL: <http://kotasurabaya.silh.menlh.go.id/indeks-pencemaran-udara-ipu/>>
- Syafei, AD., Fujiwara, A., dan Zhang, J. 2014. "Spatial and temporal factors of air quality in Surabaya City: an analysis based on a multilevel model." **Procedia Social and Behavioral Science**. ICTTS 2014.
- Ukaigwe, SA., dan Osoka, EC. 2013. "Air quality monitoring using model: a review." **International Journal of Science and Research** 2, 217-221.
- Utomo, EB. 2016. "Analisis Kemacetan Lalu Lintas di Kota Surabaya (Studi Kasus Titik Kemacetan di Jalan Ahmad Yani, Jalan Wonokromo, dan Jalan Dupak Surabaya Tahun 2014)." **Swara Bumi** 3, 3, 20-29.
- Vallero, D.A. 2008. *Fundamentals of Air Pollution*. London: Elsevier.
- Wibisana, H., dan Utomo, N. 2016. "Pemetaan Kecepatan dan Kerapatan Lalu Lintas di Ruas Jalan Arteri Kota Surabaya." **Jurnal Teknik Sipil** 12, 121-145.
- Willmott, CJ., Robeson, SM., dan Matsuura, K. 2012. "A refined index of model performance." **International Journal of Climatology** 32, 2088-2094.
- Yamartino, A. 2008. **Air quality modelling - Theories, Methodologies, Computatioinal Techniques, and Available Databases and Software**. EnviroComp Institute.
- Zhai, X., Russell, A.G., Sampath, P., Mulholland, J.A., Kim, B.U., Kim, Y., dan D'Onofrio, D. 2016. "Calibrating R-LINE model results with observational data to develop annual mobile air



source pollutant fields at fine spatial resolution: Application in Atlanta." **Atmospheric Environment** 147, 446-457.

Zouzelka, R. dan Rathousky, J. 2017. "Photocatalytic Abatement of NO<sub>x</sub> Pollutants in the Air using Commercial Functional Coating with Porous Morphology." **Applied Catalysis B: Environmental**, 466-476.

***Halaman ini sengaja dikosongkan.***

# LAMPIRAN 1

## DATA LALU LINTAS

Tabel L.1.1. Koordinat Jalan Penunjang

No.	Nama Jalan	Koordinat Jalan (Kartesius)			
		Awal		Akhir	
		x	y	x	y
1	Kalianyar	112,7502	-7,2480	112,7469	-7,2483
2	Ngaglik	112,7550	-7,2490	112,7502	-7,2480
3	Kapasari	112,7502	-7,2480	112,7510	-7,2468
		112,7510	-7,2468	112,7516	-7,2440
		112,7516	-7,2440	112,7529	-7,2408
4	Tembaan	112,7386	-7,2473	112,7343	-7,2465
		112,7343	-7,2465	112,7335	-7,2462
5	Dupak	112,7335	-7,2462	112,7320	-7,2450
		112,7320	-7,2450	112,7312	-7,2456
		112,7312	-7,2456	112,7286	-7,2450
		112,7286	-7,2450	112,7279	-7,2450
		112,7279	-7,2450	112,7265	-7,2452
6	Gemblongan	112,7265	-7,2452	112,7228	-7,2452
		112,7370	-7,2558	112,7368	-7,2525
7	Bubutan	112,7342	-7,2556	112,7342	-7,2550
		112,7342	-7,2550	112,7364	-7,2485
		112,7364	-7,2485	112,7372	-7,2455
		112,7372	-7,2455	112,7372	-7,2448
		112,7372	-7,2448	112,7369	-7,2437
8	Diponegoro	112,7369	-7,2437	112,7371	-7,2435
		112,7269	-7,2750	112,7316	-7,2807
9	Kapasari	112,7316	-7,2807	112,7360	-7,2896
		112,7529	-7,2408	112,7445	-7,2384
10	Pahlawan	112,7368	-7,2525	112,7367	-7,2511
		112,7367	-7,2511	112,7373	-7,2502
		112,7373	-7,2502	112,7383	-7,2483

No.	Nama Jalan	Koordinat Jalan (Kartesius)			
		Awal		Akhir	
		x	y	x	y
11	Kramat Gantung	112,7383	-7,2483	112,7386	-7,2474
		112,7386	-7,2474	112,7386	-7,2469
		112,7386	-7,2469	112,7385	-7,2451
		112,7368	-7,2525	112,7370	-7,2519
		112,7370	-7,2519	112,7384	-7,2502
		112,7384	-7,2502	112,7389	-7,2491
		112,7389	-7,2491	112,7390	-7,2482
		112,7390	-7,2482	112,7390	-7,2474
		112,7331	-7,2584	112,7342	-7,2564
12	Blauran	112,7342	-7,2564	112,7342	-7,2560
		112,7271	7,2741	112,7375	7,2765
13	Pandegiling	112,7375	7,2765	112,7412	7,2775
		112,7412	7,2775	112,7432	7,2777

Tabel L.1.2. Volume Lalu Lintas Harian

Nama Jalan	Volume LHR					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jl. Embong Malang	51288,8	58064	53028,9	57393,05	53153,4	53153,4
Jl. Urip Sumoharjo	89160,7	144684,85	105058	106834,6	112424,2	112424
Jl. Pemuda	58560,1	33673,85	63343,1	48224,05	48392,7	42433,6
Jl. Panglima Sudirman	63610,2	76341,95	75129,7	54274,3	58251,4	76446,2
Jl. Basuki Rahmat	57189,35	66043,4	75452,8	74641,95	63424,7	57257,5

Tabel L.1.3. Proporsi Kendaraan

Jenis Kendaraan	Jumlah	%	Jenis Kendaraan	Jumlah	%
Motor	490793	70,155%	Pickup/Box	7102	1,015%
Mobil Pribadi	196320	28,062%	Mini Truk	332	0,047%
Angkot	4925	0,704%	Bus Besar	166	0,024%
Taxi	7373	1,054%	Truk 2 sb	111	0,016%
Bus Mini	161	0,023%	Truk 3sb	32	0,005%
Truk Gandeng	10	0,001%	Kend. Tak Bermotor	3669	0,524%
Trailer	4	0,001%	Total	699586	100,000%

Tabel L.1.4. Derajat Kejenuhan

<b>N o</b>	<b>Nama Ruas</b>	<b>Asal Kendara an</b>	<b>Tujuan Kendara an</b>	<b>Waktu Punca k</b>	<b>Derajat Kejenuh an</b>
1	Jl. Panglima Sudirman	Timur	Barat	Pagi	1,286
2				Siang	1,945
3				Sore	2,202
4				Pagi	1,085
5	Jl. Basuki Rahmat	Timur	Barat	Siang	1,670
6				Sore	1,215
7				Pagi	0,303
8				Siang	0,407
9	Jl. Embong Malang		Jl. Blauran	Sore	0,393
10				Pagi	0,699
11				Siang	0,524
12	Jl. Pemuda	Timur	Barat	Sore	0,498
13				Pagi	0,680
14				Siang	0,640
15	Jl. Urip Sumoharjo	Jl. Darmo	TP	Sore	0,760

## LAMPIRAN 2

### DATA KUALITAS UDARA

Tabel L.2.1. Data NO<sub>2</sub> pada Tanggal Terpilih Musim Kemarau

Waktu	02-Sep	03-Sep	04-Sep	05-Sep	06-Sep	07-Sep	08-Sep
00:30	52,29	40,75	27,71	39,00	16,64	9,02	7,82
01:00	35,81	38,09	30,96	41,08	20,04	8,68	6,78
01:30	21,54	40,00	31,99	45,14	21,68	8,05	6,38
02:00	19,99	40,72	41,61	40,54	18,80	8,18	5,34
02:30	25,82	40,45	43,79	42,65	24,32	7,68	5,15
03:00	56,91	39,68	44,78	43,18	53,74	7,52	4,76
03:30	51,34	33,95	48,38	42,72	44,40	7,24	4,50
04:00	50,31	39,20	46,15	42,49	42,61	7,21	4,03
04:30	46,97	44,53	44,21	44,84	43,94	8,13	3,87
05:00	46,40	44,13	42,63	41,24	43,02	13,49	4,88
05:30	47,60	50,95	42,75	40,33	45,07	17,56	5,94
06:00	43,37	54,82	42,11	41,27	48,36	18,92	6,52
06:30	36,85	53,49	47,17	45,31	51,03	19,05	9,84
07:00	38,52	53,30	55,96	59,88	60,68	21,32	16,70
07:30	41,64	67,07	68,60	80,57	80,04	26,70	21,84
08:00	50,23	80,09	88,49	76,23	72,68	32,56	25,11
08:30	41,60	55,91	61,18	44,53	48,24	33,03	27,02
09:00	31,30	30,49	51,50	24,96	25,40	33,21	23,34
09:30	23,26	19,07	36,44	25,24	16,03	29,39	19,22
10:00	19,86	16,62	23,01	19,57	28,22	23,28	17,64
10:30	15,71	14,77	19,33	16,89	18,45	18,14	16,42
11:00	13,68	13,44	17,23	16,73	12,63	14,74	15,32

Waktu	02-Sep	03-Sep	04-Sep	05-Sep	06-Sep	07-Sep	08-Sep
11:30	15,06	12,42	20,08	19,63	12,80	12,86	14,19
12:00	12,05	12,56	16,70	13,10	12,75	11,83	12,91
12:30	14,59	12,03	11,31	14,98	22,97	11,11	11,94
13:00	12,64	11,47	12,31	12,63	14,32	11,08	11,88
13:30	12,67	12,80	11,91	11,80	13,98	10,97	11,31
14:00	10,15	13,98	13,02	12,74	20,07	11,39	11,39
14:30	11,44	11,39	15,40	12,64	16,75	11,77	12,49
15:00	15,02	11,91	17,64	14,52	14,66	11,88	12,53
15:30	12,35	12,36	16,68	17,42	14,18	11,75	13,08
16:00	14,16	18,83	17,84	15,26	14,48	12,60	13,07
16:30	17,55	15,68	21,02	21,34	16,14	14,07	14,65
17:00	19,91	15,64	24,42	22,68	16,61	14,68	15,29
17:30	18,94	19,58	21,68	26,81	17,51	15,96	16,40
18:00	17,31	21,45	25,44	25,27	19,08	17,41	18,13
18:30	17,88	20,74	24,85	23,94	21,98	18,14	20,95
19:00	18,64	20,82	24,97	21,87	22,47	18,38	22,73
19:30	21,17	17,42	19,05	27,67	21,26	17,45	21,92
20:00	19,50	18,74	16,37	23,95	19,44	15,21	21,82
20:30	22,95	23,16	19,79	25,13	16,58	14,34	21,09
21:00	20,35	20,18	20,70	34,75	15,48	13,66	19,57
21:30	23,33	22,11	21,17	28,97	14,21	11,94	18,99
22:00	27,78	27,26	21,21	29,69	13,55	11,44	10,62
22:30	32,71	33,43	26,46	29,80	12,89	16,18	15,06
23:00	42,30	24,30	25,11	25,43	12,94	9,59	15,18
23:30	39,01	17,39	25,44	18,76	11,39	9,16	14,02
24:00	51,29	20,92	25,58	11,69	9,95	8,51	12,75



Tabel L.2.2. Data NO<sub>2</sub> Terpilih Musim Hujan

Waktu	08-Dec	09-Dec	10-Dec	11-Dec	12-Dec	13-Dec	14-Dec
00:30	74,24	64,56	49,49	34,84	39,93	48,08	35,60
01:00	46,72	62,37	45,12	36,97	37,24	47,31	31,91
01:30	28,53	60,43	45,20	35,33	34,00	44,53	33,54
02:00	27,21	74,50	41,38	31,68	31,22	45,83	30,41
02:30	21,17	58,94	35,64	28,62	31,04	56,42	28,58
03:00	19,66	54,52	35,11	24,64	29,89	53,36	32,98
03:30	15,76	52,86	34,40	25,22	31,02	49,63	25,24
04:00	19,54	50,32	35,47	24,86	31,85	45,20	23,77
04:30	22,58	48,08	31,55	25,16	30,61	45,53	22,78
05:00	28,34	44,78	29,69	26,49	25,83	44,92	25,71
05:30	42,24	37,63	29,08	23,36	23,25	44,35	26,02
06:00	49,66	37,04	29,72	21,07	24,60	45,29	25,57
06:30	49,80	52,23	27,39	20,18	28,76	49,62	26,60
07:00	62,51	63,33	28,26	20,73	36,14	57,65	34,87
07:30	78,63	75,34	34,78	28,95	45,54	60,69	51,29
08:00	81,14	92,56	50,31	37,04	49,79	56,82	58,23
08:30	84,10	61,16	42,97	37,63	48,32	48,61	51,47
09:00	80,01	51,50	28,01	24,83	46,58	39,72	45,40
09:30	48,94	63,25	28,42	30,25	51,64	41,72	36,49

Waktu	08- Dec	09- Dec	10- Dec	11- Dec	12- Dec	13- Dec	14- Dec
10:00	58,53	69,45	32,51	37,66	56,87	52,28	29,41
10:30	53,31	54,68	27,65	53,38	49,63	62,74	22,47
11:00	36,24	41,61	30,80	51,76	34,54	34,47	19,85
11:30	44,07	38,60	39,46	37,98	31,66	24,55	22,58
12:00	73,34	73,77	29,99	25,47	26,70	19,13	29,50
12:30	69,03	52,25	24,60	24,50	21,27	20,76	57,32
13:00	64,20	39,07	22,17	42,86	23,53	53,64	40,28
13:30	56,42	53,44	25,07	27,31	22,26	76,25	23,16
14:00	43,55	51,73	28,59	34,86	23,81	50,92	24,80
14:30	47,06	48,90	28,55	32,67	22,75	57,89	62,37
15:00	54,90	42,41	34,50	29,03	33,84	66,22	77,50
15:30	52,99	41,77	34,34	35,23	50,62	45,28	75,09
16:00	46,36	44,70	38,85	45,92	62,31	39,10	80,79
16:30	62,49	41,47	35,78	27,31	55,55	34,25	61,37
17:00	74,54	47,25	43,13	42,82	51,09	53,30	42,66
17:30	85,67	59,31	51,29	56,24	44,82	73,19	37,99
18:00	90,65	53,74	46,70	61,71	46,47	64,26	47,20
18:30	89,44	42,05	30,24	70,80	31,93	54,40	35,11
19:00	85,73	61,44	33,54	81,39	63,54	47,85	54,36
19:30	83,54	60,93	37,38	72,02	74,26	35,09	62,23
20:00	68,31	50,65	61,09	71,83	72,55	42,72	60,36

Waktu	08- Dec	09- Dec	10- Dec	11- Dec	12- Dec	13- Dec	14- Dec
20:30	52,59	67,47	43,91	70,41	66,97	43,35	71,28
21:00	90,53	56,85	37,55	64,81	65,57	55,99	68,29
21:30	68,90	64,95	40,42	66,80	49,87	56,67	70,12
22:00	81,33	76,66	36,44	67,13	48,69	50,57	68,15
22:30	75,69	56,28	34,81	59,16	42,52	47,16	69,18
23:00	69,84	46,94	34,11	52,08	38,60	40,26	67,10
23:30	72,65	53,09	32,81	49,01	28,75	30,78	66,52
24:00:							
00	68,07	48,74	32,96	41,39	37,85	34,90	63,09

Tabel L.2.3. Data GRAD Musim Kemarau

Waktu	02- Sep	03- Sep	04- Sep	05- Sep	06- Sep	07- Sep	08- Sep
00:30	0,99	1,08	1,05	0,95	0,93	0,75	0,85
01:00	0,91	0,93	0,89	0,94	0,90	0,64	0,67
01:30	0,91	0,95	0,86	0,93	0,93	0,74	0,67
02:00	0,94	0,92	0,90	0,89	0,94	0,73	0,64
02:30	0,90	0,95	0,89	0,90	0,93	0,62	0,61
03:00	0,91	0,94	0,91	0,92	0,98	0,63	0,66
03:30	0,90	0,92	0,91	0,93	0,93	0,70	0,67
04:00	0,92	0,95	0,90	0,90	0,95	0,68	0,67
04:30	0,92	0,97	0,90	0,93	0,96	0,63	0,66
05:00							

Wakt u	02- Sep	03- Sep	04- Sep	05- Sep	06- Sep	07- Sep	08- Sep
	0,98	1,01	0,96	0,93	0,96	0,66	0,69
05:30	1,17	1,15	1,04	0,99	0,98	0,61	0,84
06:00	3,01	2,45	3,10	3,35	3,62	3,07	2,94
06:30	16,40	10,60	12,36	11,27	13,37	11,39	10,23
07:00	29,78	18,32	20,12	19,00	19,75	19,65	16,11
07:30	29,79	24,41	24,55	24,58	26,41	26,41	19,94
08:00	37,27	30,56	31,45	36,13	34,21	31,83	25,24
08:30	52,07	41,28	44,81	57,47	42,97	53,39	30,27
09:00	77,65	74,89	80,69	88,81	75,65	82,56	47,03
09:30	330,9 5	277,9 5	291,1 4	231,0 9	248,8 3	169,6 8	233,2 7
10:00	56,71	57,41	75,65	73,97	60,73	77,03	42,95
10:30	58,86	56,51	94,18	61,54	62,18	81,10	46,37
11:00	60,20	60,91	99,73	61,32	61,67	68,43	46,91
11:30	156,8 2	124,6 4	127,8 4	86,24	85,91	80,50	61,72
12:00	539,0 1	521,3 0	446,0 6	434,0 7	431,0 5	391,7 5	362,3 3
12:30	614,1 5	620,7 9	616,1 0	592,1 7	625,7 9	625,9 3	607,7 8
13:00	600,9 8	595,2 2	599,6 1	572,9 7	591,2 6	615,4 5	620,7 0
13:30	567,8 3	566,3 1	575,1 0	545,5 9	544,2 2	587,1 8	591,2 0

Wakt u	02- Sep	03- Sep	04- Sep	05- Sep	06- Sep	07- Sep	08- Sep
14:00	335,1 1	376,7 8	447,1 3	436,8 7	468,0 7	541,7 6	552,3 7
14:30	165,4 6	189,0 4	236,5 6	235,0 0	276,8 4	329,6 5	373,7 9
15:00	104,9 9	88,83	96,05	135,0 0	120,2 1	96,87	101,4 9
15:30	61,30	54,82	65,37	98,18	82,75	85,85	104,7 7
16:00	72,88	54,42	48,63	61,92	81,65	66,97	59,78
16:30	60,03	37,03	40,14	45,26	44,91	38,78	37,07
17:00	32,61	24,92	29,74	34,70	28,23	24,75	23,24
17:30	13,72	11,17	16,00	13,69	9,86	11,03	10,04
18:00	2,30	2,25	3,28	1,90	1,67	1,74	1,98
18:30	1,08	0,98	1,04	0,95	0,74	0,91	0,85
19:00	1,10	1,03	1,14	0,94	0,67	0,90	0,90
19:30	1,12	0,99	1,12	0,93	0,76	0,90	0,87
20:00	1,21	1,01	1,07	0,97	0,76	0,96	0,86
20:30	1,13	1,03	1,10	0,93	0,81	0,98	0,89
21:00	1,13	1,01	1,11	0,92	0,86	0,98	0,91
21:30	1,22	1,07	1,00	0,95	0,77	0,94	0,90
22:00	1,19	1,08	1,02	0,92	0,85	0,97	0,91
22:30	1,21	1,12	0,99	0,95	0,88	0,96	0,94
23:00							

Waktu	02-Sep	03-Sep	04-Sep	05-Sep	06-Sep	07-Sep	08-Sep
	1,10	1,05	1,03	0,94	0,88	0,95	0,95
23:30	1,23	1,08	0,99	0,94	0,93	0,89	0,98
24:00							
:00	1,19	1,14	1,07	0,94	0,85	0,88	1,01

Tabel L.2.4. Data GRAD Musim Hujan

Waktu	08-Dec	09-Dec	10-Dec	11-Dec	12-Dec	13-Dec	14-Dec
00:30	0,75	0,46	0,42	0,33	0,62	0,50	0,45
01:00	0,57	0,36	0,31	0,05	0,45	0,34	0,28
01:30	0,54	0,38	0,36	0,34	0,41	0,37	0,32
02:00	0,41	0,33	0,43	0,40	0,40	0,38	0,41
02:30	0,37	0,21	0,43	0,31	0,35	0,36	0,32
03:00	0,46	0,36	0,38	0,36	0,41	0,38	0,33
03:30	0,66	0,37	0,33	0,32	0,43	0,30	0,38
04:00	0,49	0,28	0,40	0,32	0,41	0,29	0,32
04:30	0,46	0,38	0,37	0,28	0,39	0,30	0,32
05:00	0,47	0,38	0,39	0,27	0,50	0,33	0,28
05:30	1,14	1,23	1,29	1,27	1,29	1,62	1,02
06:00	5,73	9,75	13,56	13,39	7,71	12,18	6,87
06:30	17,10	22,52	24,87	29,94	22,89	26,90	17,78
07:00	24,33	38,23	17,81	42,18	31,77	37,48	30,84
07:30	40,55	56,94	21,44	53,04	44,42	51,94	48,99

Waktu	08-Dec	09-Dec	10-Dec	11-Dec	12-Dec	13-Dec	14-Dec
08:00	56,14	66,21	49,25	62,54	69,65	58,93	58,42
08:30	74,68	66,83	53,05	66,72	89,89	61,58	72,45
09:00	105,10	69,30	57,34	99,48	116,45	68,39	99,27
09:30	124,66	146,05	251,19	248,87	152,89	250,21	75,55
10:00	140,49	73,22	101,18	196,74	152,79	180,24	85,21
10:30	144,82	112,05	152,75	203,07	191,46	136,60	181,98
11:00	176,00	188,43	111,59	183,94	234,49	304,42	175,40
11:30	61,05	165,02	126,38	202,85	230,18	151,14	90,36
12:00	26,89	197,04	216,63	194,08	263,95	177,42	100,45
12:30	31,41	272,68	283,02	193,74	224,22	151,66	178,19
13:00	167,96	293,23	329,36	194,73	157,01	95,37	207,66
13:30	300,22	203,63	68,23	177,89	463,64	63,82	96,18
14:00	237,38	136,24	45,10	139,46	177,34	57,35	89,86
14:30	281,18	109,66	18,47	174,36	219,61	52,54	37,77
15:00							

<b>Waktu</b>	<b>08-Dec</b>	<b>09-Dec</b>	<b>10-Dec</b>	<b>11-Dec</b>	<b>12-Dec</b>	<b>13-Dec</b>	<b>14-Dec</b>
	319,67	93,01	72,02	90,33	150,95	65,32	30,19
15:30	76,13	66,66	17,68	32,59	53,13	133,10	31,84
16:00	1,05	33,58	34,14	17,74	60,50	148,68	24,02
16:30	3,82	44,48	24,13	18,47	31,78	151,15	10,34
17:00	3,24	29,61	6,11	2,52	6,69	41,97	1,88
17:30	2,30	3,00	2,45	1,32	0,97	14,83	1,28
18:00	1,04	1,13	0,78	0,87	0,39	1,71	1,14
18:30	0,47	0,45	0,41	0,52	0,42	0,43	0,81
19:00	0,80	0,45	0,76	0,55	0,45	0,46	0,55
19:30	0,77	0,50	0,94	0,62	0,67	0,50	0,38
20:00	0,92	0,59	0,91	0,75	0,66	0,52	0,52
20:30	0,83	0,57	0,78	0,62	0,62	0,45	0,41
21:00	0,89	0,89	0,75	0,50	0,59	0,46	0,40
21:30	0,76	0,78	0,95	0,55	0,66	0,52	0,46
22:00	0,83	0,50	0,94	0,57	0,61	0,48	0,49
22:30	0,41	0,68	0,79	0,63	0,56	0,53	0,51
23:00	0,47	0,82	0,55	0,68	0,59	0,47	0,59
23:30	0,48	0,72	0,48	0,68	0,70	0,49	0,53
24:00	0,49	0,64	0,49	0,75	0,73	0,46	0,45



Tabel L.2.5. Contoh Data Angin NCDC

<b>YR--MODAHRMN</b>	<b>DIR</b>	<b>SPD</b>
201709290000	200	3
201709290300	100	6
201709290600	80	10
201709290900	110	16
201709291200	110	15
201709291500	90	9
201709291800	***	0
201709292100	230	3
201709300000	230	3
201709300300	80	7
201709300600	100	11
201709300900	90	13
201709301200	110	14
201709301500	120	7
201709301800	160	7
201709302100	220	5
201710010000	300	3

***Halaman ini sengaja dikosongkan.***

### LAMPIRAN 3

#### HASIL PERHITUNGAN DISPERSI

Tabel L.3.1. Contoh Keluaran Perhitungan Dispersi untuk Verifikasi Model

Waktu Kemarau	SUF-1	Waktu Hujan	SUF-1
02/09/2017 00:30	381,3265	08/12/2017 00:30	442,0161
02/09/2017 01:00	480,0342	08/12/2017 01:00	413,9985
02/09/2017 01:30	1178,963	08/12/2017 01:30	104,263
02/09/2017 02:00	924,5843	08/12/2017 02:00	75,15019
02/09/2017 02:30	306,0044	08/12/2017 02:30	2,521589
02/09/2017 03:00	576,3759	08/12/2017 03:00	64,1636
02/09/2017 03:30	289,7536	08/12/2017 03:30	85,01529
02/09/2017 04:00	52,91605	08/12/2017 04:00	41,53969
02/09/2017 04:30	77,16145	08/12/2017 04:30	57,55826
02/09/2017 05:00	79,96183	08/12/2017 05:00	53,77912
02/09/2017 05:30	468,3626	08/12/2017 05:30	1,737439
02/09/2017 06:00	111,7382	08/12/2017 06:00	0,045766
02/09/2017 06:30	0	08/12/2017 06:30	4,290585
02/09/2017 07:00	0	08/12/2017 07:00	14,40192
02/09/2017 07:30	73,28416	08/12/2017 07:30	3,491288
02/09/2017 08:00	0	08/12/2017 08:00	58,86251
02/09/2017 08:30	0	08/12/2017 08:30	27,51631
02/09/2017 09:00	0	08/12/2017 09:00	30,25749
02/09/2017 09:30	0,031851	08/12/2017 09:30	40,47526
02/09/2017 10:00	0,16664	08/12/2017 10:00	0

***Halaman ini sengaja dikosongkan.***

## LAMPIRAN 4

### SCRIPT MATLAB

- Script rumus perhitungan

```
%% Insert Peta Administratif
img = imread('SbyPst11.jpg');
min_x =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','C31');
max_x =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','C32');
min_y =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','C33');
max_y =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','C34');
imagesc([min_x max_x], [min_y max_y],
flipud(img));
set(gca,'ydir','normal');
hold on; sc = 110447;
%skala rata-rata m/degree
%% Konstanta Difusivitas
Dify =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','D4');
Difz =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','D5');
% difusivitas horizontal dan vertical (m2/s)
Dy = Dify; Dz = Difz; %
difusifitas dalam m
.
.
.
%% 1.3. Kecepatan Angin dan Reseptor
HE =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','D39');
% input tinggi sumber (m)
Hs = HE; % tinggi dalam deg
receptor =
xlsread('UPDM_V11.xls','Phys_Data','D40');
%tinggi reseptor (m)
v = s; % kec angin deg/det
```

```

z = receptor;          % tinggi reseptor deg
%% 2. Lines Sources
%% 2.1. Data beban emisi (g/s)
QJ =
Factor*xlsread('UPDM_V11.xls','LineS','K4:K57
');
%% 2.2. LS_Data teknis sumber rata-rata
%posisi jalan
x1 =
xlsread('UPDM_V11.xls','LineS','E4:E57'); %
input koordinat x awal jalan
x2 =
xlsread('UPDM_V11.xls','LineS','F4:F57'); %
input koordinat x akhir jalan
y1 =
xlsread('UPDM_V11.xls','LineS','C4:C57'); %
input koordinat y awal jalan
y2 =
xlsread('UPDM_V11.xls','LineS','D4:D57'); %
input koordinat y awal jalan
%Efektif plume dalam deg
cLS = zeros(size(x));
dz = Dz/100;
ma = tan((90-a)*pi/180);          %
gradient arah angin terhadap reference (east)
%% 2.3. Perhitungan konsentrasi Dispersi
for j=1:length(QJ)
    str = num2str(j);
    plot([x1(j) x2(j)], [y1(j)
y2(j)], 'LineStyle', '-
', 'LineWidth', 1, 'color'...

, 'm'); text((x1(j)+x2(j))/2, (y1(j)+y2(j))/2, st
r, 'color', 'r');
    m = (y2(j) - y1(j))/(x2(j) - x1(j)) ;
    k = y1(j) - m*x1(j);
    A = atan(m)*180/pi;
    B = (a-90) + A;
    d = ((-
y+m*x+k)/(1+m^2)^0.5)/(sin(B.*pi/180))*sc;

```

```

        xe = (ma*x - m*x2(j) - y + y2(j))./(ma-
m);
        ye = m*(xe-x2(j))+y2(j);
        Le = abs(y2(j) - y1(j));
        EF = 0.5*Le - abs(ye -
0.5*(y2(j)+y1(j)));
        E= (EF>=0).*EF; COR=E./E;
        COR(isnan(COR))=0;
        if d==0
            cJ =
1000000*(QJ(j)*e./(sqrt(2*pi)*dz));
        else
            cJ = ((36.5-
3.25*v).*(v^2)./((d>0).*d)).*(1000000*QJ(j)*e
./(sqrt(2*pi)*(d>0).*d.*dz)).*...
            (exp(-v*(z-Hs)*(z-
Hs)*e./(4*dz*(d>0).*d))+exp(-
v*(z+Hs)*(z+Hs)*e./...
            (4*dz*(d>0).*d))).*exp(-
lambda*(d>0).*d./v);
        end
        cJ(isinf(cJ))=0; cJ(isnan(cJ))=0; cLS1 =
cJ.*COR;
        cLS = cLS + cLS1;
    end
    c=cLS;
    %% ISPU Location
    xI1 = 112.742806; yI1 = -7.261611;
    I1=c(round(grid*(yI1-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xI1-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D1 = Dt1;
    .
    .
    .
    %% Insert Peta Administratif
    img = imread('SbyPst11.jpg');
    imagesc([min_x max_x], [min_y max_y],
flipud(img));
    set(gca,'ydir','normal');
    hold on; alpha(0.4)

```

```

%% Plot Angin vektor
[x,y] = meshgrid
(linspace(min_x,max_x,10),linspace(min_y,max_
y,10));
vel = v*0.00000907;
u = vel*cos((90-a)*pi/180)*ones(size(x));
w = vel*sin((90-a)*pi/180)*ones(size(y));
wind_speed = sqrt(u.^2 + w.^2 );
quiver(x,y,u,w,0.1,'b');
axis([min_x max_x min_y max_y]);
%% title and SUF Plot
title({'Grid = ',num2str(grid),'; Date ',t,
' WIB; wind velocity ', num2str(s), ' (m/s),
', ' direction to ', num2str(a), ' (degree
from north), and kinetic constant (\lambda) =
', num2str(lambda), ' (\mug/s)'];...
['Concentration (Modeled--Measured)
\mug/m^3: SUF1 (',num2str(I1),'--
',num2str(D1),')' ]});
plot(xI1,yI1,'dk');text(xI1, yI1, '
SUF1','color','b')
clc;

```

- Script *running* data 7 hari

```

clear;
clc;
grid = xlsread('UPDM_V11','Phys_Data','C21');
% resolusi perhitungan (membagi area
perhitungan menjadi n x n grid), 18562 s
SUF1 =
xlsread('UPDM_V11','AQ_Data','B4:B339');
arah =
xlsread('UPDM_V11','Phys_Data','AD4:AD339');
speed =
xlsread('UPDM_V11','Phys_Data','AC4:AC339');
fc =
xlsread('UPDM_V11','Phys_Data','AI4:AI339');

```



```

lbd =
0.000002*xlsread('UPDM_V11','Phys_Data','AJ4:
AJ339');
DateNumber = 736940; formatOut = 'mmm.dd,yyyy
HH:MM'; time =
datestr(DateNumber,formatOut);% 1 Jan 2010 =
734139, 2 Jan 2010 = 734140, 1 Agust 2011 =
734716, 1 Mar 2012 = 734929
%% dispersi
for n=1:length(arah);
    Dt1 = SUF1(n);
    Factor = fc(n); lambda = lbd(n);
    a=arah(n); s=speed(n); t =
datestr(DateNumber+(n)*0.02083333333334,format
Out);cla;
    PSLs_Loop2;
    drawnow
    MOD = I1;
    my_cell = sprintf('B%s',num2str(n+3));

A=xlswrite('UPDM_V11',MOD,'Result_Model',my_c
ell);
end
%% Analysis
MOD1=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','B4:B3
39');
t = 1:336;      % range max - range min + 1
ts1 = timeseries(SUF1,0.5+0.5*t);ts11 =
timeseries(MOD1,0.5+0.5*t);
ts1.TimeInfo.Units =
'hours';ts11.TimeInfo.Units = 'hours';
ts1.TimeInfo.StartDate = '02-Sep-2017
00:30';ts11.TimeInfo.StartDate = '02-Sep-2017
00:30';      % Set start date.
ts1.TimeInfo.Format = 'MMM d
HH:mm';ts11.TimeInfo.Format = 'MMM d HH:mm';
% Set format for display on x-axis.
ts1.Time = ts1.Time - ts1.Time(1);ts11.Time =
ts11.Time - ts11.Time(1);      % Express
time relative to the start date.

```

```

figure('Name','Simulation Plot SUF1-MOD
','NumberTitle','off')
subplot(2,2,[1,2])
plot(tsl,'-k'); hold on
plot(tsl1,'--b'); grid; title('SUF-1, Data
and Model Plotted');
legend('data','model','Location','northeast',
'Orientation','horizontal');
ylabel('[NOx]-ambient (\mug/m^3)'); hold off
subplot(2,2,3)
p = polyfit(SUF1,MOD1,1); a = p(1); b = p(2);
yMOD = a*SUF1+b;
plot(SUF1,MOD1,'.k',SUF1,yMOD); grid;
legend('SUF-MOD','L-
Regression','Location','southeast');
rmse = rms(MOD1 - SUF1); R =
corrcoef(SUF1,MOD1);
ylabel('model');
xlabel('data');title({'Correlations SUF1-
MODEL';['RMSE = ',num2str(rmse),'; R =
',num2str(R(1,2)), ' (MOD = ',num2str(p(1)), '
x SUF1 + ',num2str(p(2)),')' ]});

```

- **Script *Overlay* gambar**

```

clear;
clc;
A = imread ('0135.jpg');
B = imread ('180315.jpg');
C = imfuse (A,B,'blend','Scaling','joint');
imshow (C)

```

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis berasal dari Cinere, Depok namun dilahirkan di Balikpapan. Penulis menghabiskan masa pendidikan dasar di SD Islam Dian Didaktika Cinere (2002-2008), SMP Islam Dian Didaktika Cinere (2008-2011), dan SMA Labschool Kebayoran Jakarta (2011-2014). Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis melanjutkan pendidikan S1 pada tahun 2014 dan terdaftar

sebagai mahasiswa dengan NRP 03211440000100.

Selama kegiatan perkuliahan, penulis aktif di berbagai kegiatan di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI). Posisi terakhir penulis di HMTL sebagai Kabid PTD Departemen PSDM HMTL ITS (2016-2017). Selain itu, penulis aktif di berbagai kepanitiaan tingkat regional hingga internasional. Penulis juga berpengalaman sebagai asisten laboratorium untuk mata kuliah Mikrobiologi Lingkungan, Teknik Analisis Pencemar Lingkungan, dan Kimia Lingkungan II. Penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Pertamina EP Asset 1 Jambi Field dan bekerja sebagai anggota peneliti *baseline* sampah laut di Surabaya untuk Kementerian LHK (2017) serta penilai *self assessment* Proper Biru (2018). Penulis pernah mengikuti berbagai pelatihan dalam rangka pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi melalui email [rafiandra.rafi@gmail.com](mailto:rafiandra.rafi@gmail.com).